

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Сыров Игорь Анатольевич  
Должность: Директор  
Дата подписания: 28.06.2022 10:44:43  
Уникальный программный ключ:  
b683afe664d7e9f64175886cf9626a196149ad56

СТЕРЛИТАМАКСКИЙ ФИЛИАЛ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет  
Кафедра

*Естественнонаучный*  
*Общей и теоретической физики*

**Оценочные материалы по дисциплине (модулю)**

дисциплина

*Колебания и волны.*

**Блок Б1, обязательная часть, Б1.О.14.04**

цикл дисциплины и его часть (обязательная часть или часть, формируемая участниками образовательных отношений)

Направление

**03.03.02**

**Физика**

код

наименование направления

Программа

**Медицинская физика**

Форма обучения

**Очная**

Для поступивших на обучение в  
**2021 г.**

Разработчик (составитель)

**к.ф.-м.н., доцент**

**Зеленова М. А.**

ученая степень, должность, ФИО

<b>1. Перечень компетенций, индикаторов достижения компетенций и описание показателей и критериев оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).....</b>	<b>3</b>
<b>2. Оценочные средства, необходимые для оценки результатов обучения по дисциплине (модулю).....</b>	<b>7</b>
Рис. 7.....	25
Рис. 8 .....	30
<b>3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), описание шкал оценивания .....</b>	<b>63</b>

**1. Перечень компетенций, индикаторов достижения компетенций и описание показателей и критериев оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)**

Формируемая компетенция (с указанием кода)	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине (модулю)	Показатели и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)				Вид оценочного средства
			1	2	3	4	
			неуд.	удовл.	хорошо	отлично	
ОПК-1. Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности;	ОПК-1.1. Разбирается в основных понятиях и законах физики и других естественных наук, методах математического аппарата и систем	Обучающийся должен знать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики. Теоретические основы, основные понятия, законы и модели колебательных и волновых процессов и явлений	Отсутствие знаний	Неполные представления о базовых теоретических знаниях фундаментальных разделов общей и теоретической физики. Неполные представления о теоретических основах об, основных понятиях, о законах и моделях колебательных и волновых явлений.	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы представления о базовых теоретических знаниях фундаментальных разделов общей и теоретической физики. Сформированные, но содержащие отдельные пробелы представления о теоретических основах об, основных понятиях, о законах и	Сформированные систематические представления о базовых теоретических знаниях фундаментальных разделов общей и теоретической физики. Сформированные систематические представления о теоретических основах об, основных понятиях, о законах и моделях колебательных и	Коллоквиум. Тест

					моделях колебательных и волновых явлений.	волновых явлений.	
	ОПК-1.2. Решает стандартные профессиональные задачи с применением физико-математических и естественнонаучных знаний, методами научного анализа и моделирования	Обучающийся должен уметь использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики. оценивать степень достоверности результатов, полученных с помощью экспериментальных и теоретических методов исследования, анализировать и применять физические законы и явления для решения задач	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое применение умения использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики. В целом успешное, но не систематическое применение умения оценивать степень достоверности результатов, полученных с помощью экспериментальных и теоретических методов исследования,	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение умения использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики. В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение умения оценивать степень достоверности результатов, полученных с помощью экспериментальных	Сформированное умение использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики. Сформированное умение оценивать степень достоверности результатов, полученных с помощью экспериментальных и теоретических методов исследования, анализировать и применять физические законы и явления для решения	Решение задач

				анализировать и применять физические законы и явления для решения задач.	ых и теоретических методов исследования, анализировать и применять физические законы и явления для решения задач.	задач.	
	ОПК-1.3. Проводит теоретические и экспериментальные исследования в сфере профессиональной деятельности	Обучающийся должен владеть способами использования базовых теоретических знаний фундаментальных разделов общей и теоретической физики. методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации, методиками решения задач по физике	Отсутствие владений	В целом успешное, но непоследовательное владение способами использования базовых теоретических знаний фундаментальных разделов общей и теоретической физики. В целом успешное, но непоследовательное владение методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение способами использования базовых теоретических знаний фундаментальных разделов общей и теоретической физики. В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение методами обработки и	Успешное и последовательное владение способами использования базовых теоретических знаний фундаментальных разделов общей и теоретической физики. Успешное и последовательное владение методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической	Контрольная работа. Домашняя контрольная работа

		колебательных и волновых явлений		физической информации, методиками решения задач по физике колебаний и волн.	анализа экспериментальной и теоретической физической информации, методиками решения задач по физике колебаний и волн.	информации, методиками решения задач по физике колебаний и волн.	
--	--	----------------------------------	--	---	---	--	--

## 2. Оценочные средства, необходимые для оценки результатов обучения по дисциплине (модулю)

### Коллоквиум

Перечень вопросов для оценки уровня сформированности компетенции **ОПК-1** на этапе «Знания»

1. Гармонические колебания и их характеристики. Гармонический осциллятор. Квазиупругие силы.
2. Механические гармонические колебания. Решение дифференциального уравнения свободных гармонических колебаний. Амплитуда, период, частота и фаза колебаний.
3. Механические гармонические колебания. Скорость и ускорение механических гармонических колебаний. Закон превращения энергии механических колебаний. Максимальное и среднее значение механической энергии при свободных гармонических колебаниях. Графическое представление колебаний.
4. Математический и пружинный маятники.
5. Физический маятник. Приведённая длина физического маятника. Обратный маятник.
6. Метод векторных диаграмм в теории колебаний.
7. Биения. Графическое представление биений.
8. Сложение взаимно перпендикулярных колебаний. Фигуры Лиссажу.
9. Метод комплексных чисел в теории колебаний.
10. Затухающие механические колебания. Решение дифференциального уравнения затухающих гармонических колебаний. Физический смысл коэффициента затухания. Декремент и логарифмический декремент затухания.
11. Вынужденные механические колебания. Решение дифференциального уравнения вынужденных колебаний (частное решение уравнения получить с помощью метода векторных диаграмм).
12. Резонанс в механической системе. Добротность колебательной системы. Полуширина резонансной кривой. Применение резонанса.
13. Бифилярный и трифилярный подвесы.
14. Автоколебания. Параметрический резонанс.
15. Колебания связанных систем.
16. Нелинейные колебания.
17. Механические (упругие) волны.
18. Фазовая скорость. Групповая скорость.
19. Интерференция волн.
20. Стоячие волны. Вывод уравнения стоячей волны.
21. Акустические колебания. Звук. Скорость звука. Строение уха человека. Интенсивность звука. Громкость звука. Высота и тембр звука. Уровень шума.
22. Характеристика звукового поля.

23. Энергия упругой волны. Среднее значение энергии за период. Поток энергии. Плотность потока энергии.
24. Ультразвук. Физические основы применения ультразвука.
25. Эффект Доплера в акустике.
26. Свободные гармонические колебания в колебательном контуре. Решение дифференциального уравнения свободных колебаний. Аналогия между механическими и электромагнитными колебаниями.
27. Свободные затухающие колебания в колебательном контуре.
28. Вынужденные электромагнитные колебания.
29. Явление резонанса в электромагнитном контуре. Резонанс напряжений.
30. Явление резонанса в электромагнитном контуре. Резонанс токов.
31. Переменный ток. Активное, индуктивное и емкостное сопротивления в цепи переменного тока.
32. Краткая характеристика скалярных и векторных полей.
33. Система уравнений Максвелла в дифференциальной и интегральной форме.
34. Экспериментальное доказательство существования электромагнитных волн. опыты Герца. Шкала электромагнитных волн. Способы их возбуждения и регистрации.
35. Существование электромагнитных волн. Свойства плоских электромагнитных волн.
36. Энергия электромагнитной волны.

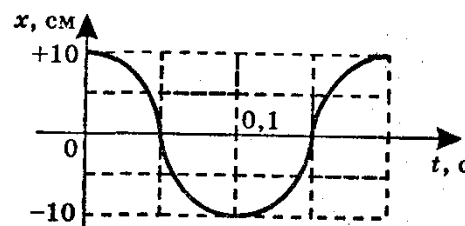
### Тест

Перечень тестов для оценки уровня сформированности компетенции **ОПК-1** на этапе «Знания»

#### 1. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

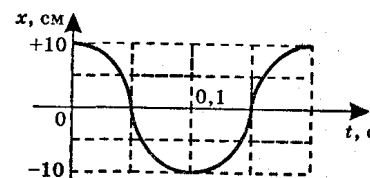
1. Для гармонического колебания, изображенного на рисунке, амплитуда колебаний равна:

- 1) 20 см; 2) 10 см; 3) 5 см; 4) 0,2 см; 5) 0,1 см.



2. Для гармонического колебания, изображенного на рисунке, период колебаний равен:

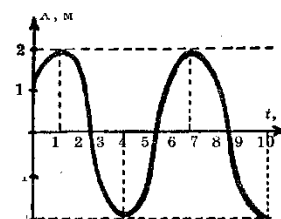
- 1) 0,05 с; 2) 0,1 с; 3) 0,15 с; 4) 0,2 с; 5) 0,4 с.





3. Уравнение гармонического колебания, график которого представлен на рисунке, имеет вид:

- 1)  $x=2\cos(\pi/3 \cdot t + \pi/2)$  (м); 2)  $x=4\cos(\pi/6 \cdot t + \pi/3)$  (м);  
 3)  $x=2\cos(\pi/3 \cdot t + \pi/6)$  (м); 4)  $x=4\sin(\pi/6 \cdot t + \pi/2)$  (м);  
 5)  $x=2\cos(\pi/2 \cdot t + \pi/6)$  (м).



4. Уравнение гармонического колебания материальной точки, максимальная скорость которой  $2\pi$  м/с, период колебаний 2 с, смещение точки от положения равновесие в начальный момент 1 м, имеет вид:

- 1)  $x=2\sin(\pi \cdot t + \pi/6)$  (м); 2)  $x=5\sin(\pi \cdot t + \pi/3)$  (м); 3)  $x=0,2\sin(2\pi \cdot t + \pi/6)$  (м);  
 4)  $x=\sin(2\pi \cdot t + \pi/3)$  (м); 5)  $x=0,5\sin(\pi \cdot t + \pi/6)$  (м);

5. Тело совершает гармонические синусоидальные колебания с нулевой начальной фазой. Если через 0,5 с после начала колебаний смещение тела от положения равновесия впервые становится равным половине амплитудного значения, то период колебаний:

- 1) 1 с; 2) 2 с; 3) 4 с; 4) 6 с; 5) 8 с.

6. Тело совершает гармонические колебания с круговой частотой  $10 \text{ с}^{-1}$ . Если тело при прохождении им положения равновесия имеет скорость 0,2 м/с, то амплитуда колебаний равна:

- 1) 8 см; 2) 2 см; 3) 4 см; 4) 6 см; 5) 20 см.

7. При гармонических колебаниях тела с круговой частотой 5 рад/с максимальное ускорение тела равно  $1,5 \text{ м/с}^2$ . Какова амплитуда колебаний тела?

- 1) 7 см; 2) 6 см; 3) 30 см; 4) 45 см; 5) 3 см.

8. Шарик массой 10 г совершает гармонические колебания с амплитудой 3 см и частотой  $10 \text{ с}^{-1}$ . Определить максимальное значение возвращающей силы, действующей на шарик.

- 1) 0,5 Н; 2) 1,0 Н; 3) 1,2 Н; 4) 5,0 Н; 5) 10,0 Н.

9. Материальная точка совершает синусоидальные колебания с амплитудой 8 см и начальной фазой  $1/3 \pi$ . Частота колебаний 0,25 Гц. Каково будет смещение точки от положения равновесия через одну секунду после начала колебаний?

- 1) 2 см; 2) 4 см; 3) 6 см; 4) 7 см; 5) 8 см.

10. Тело совершает гармонические синусоидальные колебания с амплитудой 10 см и начальной фазой  $\pi/6$ . Каково будет смещение тела от положения равновесия в начальный момент времени  $t = 0$ ?

- 1) 10 см; 2) 0 см; 3)  $5\sqrt{3}$  см; 4) 6 см; 5) 5 см.

11. Тело совершает гармонические синусоидальные колебания с амплитудой 8 см и начальной фазой  $\pi/4$ . Через  $1/8$  периода после начала колебаний смещение тела от положения равновесия равно:

- 1) 4 см; 2) 0 см; 3) 6 см; 4) 8 см; 5) 2 см.

12. Уравнение гармонических колебаний имеет вид  $x=4 \sin 2\pi t$  (м). Определить ускорение в момент времени, равный 0,5 с от начала движения:

- 1)  $16 \pi^2 \text{ м/с}^2$ ; 2)  $8 \pi^2 \text{ м/с}^2$ ; 3)  $0 \text{ м/с}^2$ ; 4)  $-8 \pi^2 \text{ м/с}^2$ ; 5)  $-16 \pi^2 \text{ м/с}^2$ .

13. Максимальная кинетическая энергия материальной точки массой 10 г, совершающей гармонические колебания с периодом 2 с, равна  $1 \cdot 10^{-4}$  Дж. При этом амплитуда колебаний этой точки составляет:

- 1)  $4,5 \cdot 10^{-3}$  м; 2)  $9,0 \cdot 10^{-3}$  м; 3)  $1,5 \cdot 10^{-2}$  м; 4)  $9,0 \cdot 10^{-2}$  м; 5)  $4,5 \cdot 10^{-1}$  м.

14. Материальная точка совершает гармонические колебания. При увеличении амплитуды колебаний этой точки в 2 раза максимальная кинетическая энергия ее:

- 1) не изменится; 2) увеличится в 2 раза; 3) увеличится в 4 раза; 4) увеличится в 8 раз; 5) увеличится в 16 раз.

15. Максимальная величина ускорения точки, движение которой описывается уравнением  $x=5\cos(2t+\pi/4)$  см, равна:

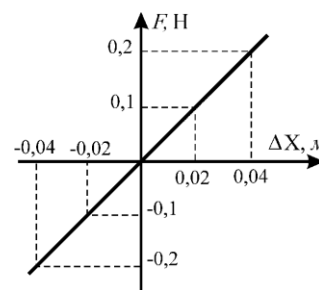
- 1)  $0,02 \text{ м/с}^2$ ; 2)  $0,04 \text{ м/с}^2$ ; 3)  $0,08 \text{ м/с}^2$ ; 4)  $0,16 \text{ м/с}^2$ ; 6)  $0,2 \text{ м/с}^2$ .

16. Начальная фаза гармонических колебаний материальной точки определяет:

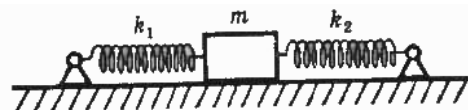
- 1) амплитуду колебаний;  
2) отклонение точки от положения равновесия в начальный момент времени;  
3) период и частоту колебаний;  
4) максимальную скорость прохождения точкой положения равновесия;  
5) полный запас механической энергии точки.

17. Если груз массой 50 г колеблется на пружине, сила упругости зависит от величины деформации пружины, как показано на графике, то период колебания такого пружинного маятника будет равен:

- 1)  $0,2\pi$  с; 2)  $2\pi$  с; 3)  $0,1\pi$  с;  
4)  $5\pi$  с; 5)  $0,4\pi$  с.



18. Тело массой  $m$  совершает колебательные движения в системе, показанной на рисунке. Жесткости пружин –  $k_1$  и  $k_2$ . Определите период колебаний тела, пренебрегая трением



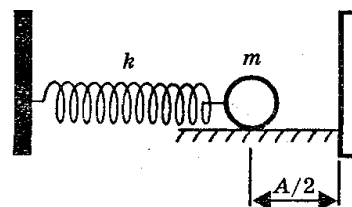
и считая, что в положении равновесия пружины не деформированы.

- 1)  $\pi m \frac{\sqrt{k_1 k_2}}{(k_1 + k_2)^2}$ ; 2)  $2\pi \sqrt{\frac{m}{k_1 - k_2}}$ ; 3)  $2\pi \sqrt{m \frac{k_1 + k_2}{k_1 \cdot k_2}}$ ;  
 4)  $2\pi \sqrt{\frac{m}{k_1 + k_2}}$ ; 5)  $2\pi \sqrt{m \frac{k_1 \cdot k_2}{k_1 + k_2}}$ .

19. Две пружины с коэффициентами жесткости  $k_1$  и  $k_2$  единены один раз последовательно, второй раз параллельно. Отношение периодов гармонических колебаний  $T_1/T_2$  груза на таких пружинах равно:

- 1)  $\frac{k_1 + k_2}{\sqrt{k_1 k_2}}$ ; 2)  $\frac{\sqrt{k_1 k_2}}{k_1 + k_2}$ ; 3)  $\frac{\sqrt{k_1 k_2}}{(k_1 + k_2)^2}$ ; 4)  $\frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2}$ ; 5)  $\frac{k_1 + k_2}{k_1 k_2}$ .

20. Шарик массой  $m$  совершает гармонические колебания в горизонтальном направлении с амплитудой  $A$  на пружине жесткости  $k$ . На расстоянии  $A/2$  от положения равновесия установили массивную стальную плиту, от которой шарик абсолютно упруго отскакивает. Если временем соударения шарика о плиту и силой трения о горизонтальную поверхность пренебречь, то период колебаний шарика равен:



- 1)  $\frac{3}{4}\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ ; 2)  $2\pi\sqrt{\frac{m}{2k}}$ ; 3)  $2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ ; 4)  $\frac{4}{3}\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ ; 5)  $5\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ .

21. Отношение масс двух пружинных маятников  $m_1/m_2$ , имеющих пружины одинаковой жесткости, частоты колебаний которых связаны соотношением  $\nu_1 = 2\nu_2$ , равно:

- 1)  $m_1/m_2 = 4$ ; 2)  $m_1/m_2 = 2$ ; 3)  $m_1/m_2 = 8$ ; 4)  $m_1/m_2 = 1/4$ ; 5)  $m_1/m_2 = \sqrt{2}$ .

22. Груз массой 8 кг, подвешенный на пружине, совершает гармонические колебания с периодом  $T$ . Какой груз нужно снять, чтобы период колебаний сократился до  $T/2$ ?

- 1) 2 кг; 2) 6 кг; 3) 4 кг; 4) 1 кг; 5) 7 кг.

23. Тело массой 5 кг совершает гармонические колебания с амплитудой 10 см. Максимальная кинетическая энергия колеблющегося тела равна 2,5 Дж. Чему равен период колебаний тела?

- 1) 2,16 с; 2) 0,86 с; 3) 0,72 с; 4) 0,63 с; 5) 0,38 с.

24. Если период колебаний груза массой  $m$ , подвешенного на пружине жесткостью  $k$ , равен  $T$ , то период колебаний груза массой  $2m$ , подвешенного на одной половине разрезанной пополам пружины, будет равен:

1)  $4T$ ; 2)  $2T$ ; 3)  $T$ ; 4)  $T/2$ ; 5)  $T/4$ .

25. Скорость прохождения положения равновесия грузом массой  $m$ , колеблющимся на пружине жесткостью  $k$  с амплитудой колебаний  $A$ , равна:

1)  $A \frac{k}{m}$ ; 2)  $\sqrt{A \frac{k}{m}}$ ; 3)  $A \sqrt{\frac{k}{m}}$ ; 4)  $A \sqrt{mk}$ ; 5)  $A \sqrt{\frac{k}{m}}$ .

26. Груз, подвешенный на пружине, в покое растягивает ее на 1 см. Если сместить груз на 2 см вниз из нерастянутого положения и отпустить, то он начнет совершать гармонические колебания с периодом, равным:

1) 2,0 с; 2) 0,3 с; 3) 0,2 с; 4) 0,4 с; 5) 1,8 с.

27. Чтобы периоды колебаний тела массой 200 г, подвешенного на нити длиной 1 м (математический маятник), и этого же тела, подвешенного на пружине (пружинный маятник), были равны, жесткость пружины должна равняться:

1) 2 Н/м; 2)  $\sqrt{2}$  Н/м; 3) 0,5 Н/м; 4) 5 Н/м; 5) 20 Н/м.

28. От груза, висящего пружине, жесткость которой равна 50 Н/м, отрывается масса в 50 г. После этого оставшаяся часть груза в будет совершать колебания с амплитудой, равной:

1) 1 см; 2) 2 см; 3) 3 см; 4) 4 см; 5) 5 см.

29. Вагон массой 80 т имеет четыре рессоры. Жесткость каждой рессоры равна 197 кН/м. Чтобы вагон сильно раскачивало, толчки от стыков рельс должны повторяться через промежуток времени, равный:

1) 8 с; 2) 2 с; 3) 4 с; 4) 6 с; 5) 5 с.

30. Какое из перечисленных действий позволит уменьшить частоту колебаний математического маятника?

- 1) Уменьшение длины подвеса;
- 2) увеличение амплитуды колебаний;
- 3) увеличение массы груза;
- 4) увеличение длины подвеса;
- 5) уменьшение массы груза.

31. Два математических маятника имеют периоды колебаний  $T_1$  и  $T_2$ , причем известно, что  $T_1 = 2T_2$ . Разность длин этих маятников составляет 30 см. Чему равны длины первого и второго маятников?

1)  $L_1 = 15$  см,  $L_2 = 45$  см; 2)  $L_1 = 45$  см,  $L_2 = 15$  см; 3)  $L_1 = 10$  см,  $L_2 = 40$  см;  
4)  $L_1 = 40$  см,  $L_2 = 10$  см; 5)  $L_1 = 50$  см,  $L_2 = 20$  см;

32. Математический маятник совершает свободные колебания вблизи стены с периодом колебаний, равным  $T$ . Чему будет равен период колебаний такого

маятника, если на одной вертикали с точкой подвеса в стену вбить гвоздь на расстоянии  $3/4$  его длины от точки подвеса?

- 1)  $2T$ ; 2)  $3/2 T$ ; 3)  $3 T$ ; 4)  $3/4 T$ ; 5)  $1/2 T$ .

33. Чтобы период колебаний математического маятника, находящегося в кабине лифта, уменьшился в  $\sqrt{2}$  раз по сравнению с периодом колебаний в неподвижном лифте, лифт должен двигаться:

- 1) вниз с ускорением  $4,9 \text{ м/с}^2$ ; 2) вверх с ускорением  $4,9 \text{ м/с}^2$ ;  
3) вверх с ускорением  $9,8 \text{ м/с}^2$ ; 4) вверх с ускорением  $2,45 \text{ м/с}^2$ ;  
5) вниз с ускорением  $2,45 \text{ м/с}^2$ .

34. Период колебаний математического маятника в неподвижном лифте  $T=1$  с. Какова величина ускорения лифта, если период колебаний маятника стал равным  $T_1=1,1$  с ?

- 1)  $1,74 \text{ м/с}^2$ ; 2)  $3,00 \text{ м/с}^2$ ; 3)  $0,36 \text{ м/с}^2$ ; 4)  $1,48 \text{ м/с}^2$ ; 5)  $2,96 \text{ м/с}^2$ .

35. На поверхности океана длина волны достигает 300 м, а ее круговая частота –  $0,46 \text{ рад/с}$ . Скорость распространения такой волны равна:

- 1)  $138 \text{ м/с}$ ; 2)  $652 \text{ м/с}$ ; 3)  $22 \text{ м/с}$ ; 4)  $430 \text{ м/с}$ ; 5)  $46 \text{ м/с}$ .

36. При уменьшении периода колебаний источника волны в 2 раза длина волны:

- 1) увеличивается в 4 раза; 2) уменьшается в 4 раза; 3) не изменяется;  
4) уменьшается в 2 раза; 5) уменьшается в 4 раза.

37. У звуковой волны частотой 1 кГц при переходе из воздуха в воду длина волны увеличивается на 1,14 м. Если скорость этой звуковой волны в воздухе  $340 \text{ м/с}$ , то в воде она равна:

- 1)  $3400 \text{ м/с}$ ; 2)  $1480 \text{ м/с}$ ; 3)  $1140 \text{ м/с}$ ; 4)  $388 \text{ м/с}$ ; 5)  $340 \text{ м/с}$ .

38. Во сколько раз изменится длина звуковой волны при переходе звука из воздуха в воду, если скорость звука в воде  $1460 \text{ м/с}$ , а в воздухе  $340 \text{ м/с}$ ?

- 1) Увеличится в 4,3 раза; 2) уменьшится в 4,3 .раза;  
3) увеличится в 2,1 раза; 4) уменьшится в 2,1 раза; 5) не изменится.

39. Если в упругой среде распространяется волна со скоростью  $6 \text{ м/с}$  и периодом колебаний  $0,5 \text{ с}$ , то минимальное расстояние между двумя точками среды, которые колеблются в одинаковых фазах, равно:

- 1)  $6,0 \text{ м}$ ; 2)  $1,5 \text{ м}$ ; 3)  $3,0 \text{ м}$ ; 4)  $4,0 \text{ м}$ ; 5)  $12,0 \text{ м}$ .

40. Если расстояние между ближайшими точками звуковой волны с частотой  $1,25 \text{ кГц}$ , распространяющейся в металле, отличающимися по фазе на  $\pi$ , составляет 2 м, то скорость звука в этом металле равна:

- 1)  $5 \text{ км/с}$ ; 2)  $10 \text{ км/с}$ ; 3)  $20 \text{ км/с}$ ; 4)  $2,5 \text{ км/с}$ ; 5)  $7,5 \text{ км/с}$ .

41. Наблюдатель услышал звуковой сигнал через 4 с после начала работы источника. На каком расстоянии находится от источника наблюдатель, если частота звука  $\nu = 1$  кГц, а длина звуковой волны  $\lambda = 32$  см?

- 1) 1560 м; 2) 1340 м; 3) 1280 м; 4) 1420 м; 5) 1610 м.

42. Если эхо, вызванное ружейным выстрелом, дошло до стрелка через 4 с после выстрела, то преграда, от которой произошло отражение звука, находится от стрелка на расстоянии (скорость звука в воздухе 340 м/с):

- 1) 340 м; 2) 680 м; 3) 1360 м; 4) 1020 м; 5)  $680\sqrt{2}$  м.

43. Стальную деталь проверяют ультразвуковым дефектоскопом, работающим на частоте 1 МГц. Отраженный от дефекта сигнал возвратился на поверхность детали через 8 мкс после посылки. Если длина ультразвуковой волны в стали равна 5 мм, то дефект находится на глубине:

- 1) 40 мм; 2) 20 мм; 3) 12 мм; 4) 8 мм; 5) 4 мм.

## 2. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

1. Колебательный контур радиоприемника содержит конденсатор емкостью  $10^{-9}$  Ф. Чтобы обеспечить прием радиоволн длиной 300 м, индуктивность катушки контура должна быть равной:

- 1) 6,2 мкГн; 2) 25,4 мкГн; 3) 6,2 мГн; 4) 28,4 мГн; 5) 6 Гн.

2. Индуктивность катушки пропорциональна квадрату числа ее витков. Как следует изменить число витков катушки электрического колебательного контура, чтобы в 2 раза увеличить длину волны, на которую настроен контур?

- 1) уменьшить в 4 раза; 2) увеличить в 4 раза; 3) уменьшить в 2 раза;  
4) увеличить в 2 раза; 5) увеличить в  $\sqrt{2} = 1,4$  раза;

3. Если к конденсатору в идеальном колебательном контуре последовательно подключить второй такой же конденсатор, то частота собственных колебаний контура:

- 1) увеличится в 2 раза; 2) увеличится в  $\sqrt{2}$  раз; 3) уменьшится в  $\sqrt{2}$  раз;  
4) уменьшится в 2 раза; 5) уменьшится в 4 раза.

4. Резонансная частота электрического колебательного контура 50 кГц. Как нужно изменить расстояние между пластинами плоского конденсатора в этом контуре, чтобы резонансная частота стала равной 70 кГц? Сопротивлением контура пренебречь.

- 1) Увеличить в 1,40 раза; 2) уменьшить в 1,40 раза;  
3) увеличить в 1,96 раза; 4) уменьшить в 1,96 раза;  
5) увеличить в 1,20 раза.

5. В идеальном колебательном контуре сила тока изменяется по закону:  $I=0,1\sin 10^3 t$  (А). Какой будет индуктивность катушки, если в контуре емкость конденсатора составляет 10 мкФ?  
1)  $10^{-3}$  Гн; 2)  $10^{-2}$  Гн; 3) 0,1 Гн; 4) 10 Гн; 5)  $10^2$  Гн.
6. Изменение тока в антенне радиопередатчика происходит по закону  $I=0,3\sin 15,7 \cdot 10^5 t$  (А). Найти длину излучающейся электромагнитной волны.  
1)  $1,2 \cdot 10^3$  м; 2)  $0,4 \cdot 10^3$  м; 3)  $0,6 \cdot 10^3$  м; 4)  $0,6 \cdot 10^4$  м; 5)  $1,2 \cdot 10^4$  м;
7. В идеальном электрическом колебательном контуре емкость конденсатора 2 мкФ, а амплитуда напряжения на нем 10 В. В таком контуре максимальная энергия магнитного поля катушки равна:  
1) 100 Дж; 2) 0,01 Дж; 3)  $10^{-3}$  Дж; 4)  $10^{-4}$  Дж; 5) 20 Дж.
8. В электрическом колебательном контуре емкость конденсатора равна 1 мкФ, а индуктивность катушки 1 Гн. Если для свободных незатухающих колебаний в контуре амплитуда силы тока составляет 100 мА, то какой должна быть амплитуда напряжения на конденсаторе?  
1) 100 В; 2) 10 В; 3) 30 В; 4) 80 В; 5) 60 В.
9. В электрическом колебательном контуре емкость конденсатора 2 мкФ, а максимальное напряжение на нем 5 В. В момент времени, когда напряжение на конденсаторе равно 3 В, энергия магнитного поля катушки равна:  
1)  $1,6 \cdot 10^{-5}$  Дж; 2)  $2,2 \cdot 10^{-5}$  Дж; 3)  $3,0 \cdot 10^{-5}$  Дж; 4)  $4,6 \cdot 10^{-5}$  Дж; 5)  $6,5 \cdot 10^{-5}$  Дж.
10. Рентгеновским излучением называется электромагнитное излучение с длинами волн в вакууме в диапазоне:  
1) 1 мм – 770 нм; 2) 770 нм – 380 нм; 3) 380 нм – 10 нм;  
4) 10 нм –  $10^{-3}$  нм; 5) менее  $10^{-3}$  нм.
11. Видимым излучением (видимым светом) называется электромагнитное излучение с длинами волн в вакууме в диапазоне:  
1) 1 мм – 770 нм; 2) 770 нм – 380 нм; 3) 380 нм – 10 нм;  
4) 10 нм –  $10^{-3}$  нм; 5) менее  $10^{-3}$  нм.
12. Абсолютный показатель преломления некоторой прозрачной среды, в которой распространяется световая волна с длиной волны  $5 \cdot 10^{-7}$  м и частотой  $4 \cdot 10^{14}$  Гц, равен:  
1) 1,33; 2) 1,50; 3) 1,25; 4) 2,00; 5) 1,20.
13. Чему равна основная частота электромагнитных волн, излучаемая полуволновой антенной длиной 1 м?  
1) 10 МГц; 2) 15 МГц; 3) 100 МГц; 4) 150 МГц; 5) 200 МГц.

14. Период колебаний в электромагнитной волне, распространяющейся в воздухе с длиной волны 3 м, равен:

1) 0,03 мкс; 2) 0,01 мкс; 3) 0,09 мкс; 4) 0,27 мкс; 5) 0,3 мкс.

15. На какой частоте корабли передают сигналы бедствия SOS, если по международному соглашению длина радиоволн должна составлять 600 м?

1)  $2 \cdot 10^6$  Гц; 2)  $0,5 \cdot 10^6$  Гц; 3)  $1,5 \cdot 10^6$  Гц; 4)  $6 \cdot 10^6$  Гц; 5)  $3,0 \cdot 10^6$  Гц;

16. Определите длину волны лучей в алмазе, показатель преломления которого 2,5, если длина волны этих лучей в воздухе 750 нм:

1) 300 нм; 2) 150 нм; 3) 1750 нм; 4) 3000 нм; 5) 1875 нм.

### Решение задач

Задачи для решения для оценки уровня сформированности компетенции **ОПК-1** на этапе «Умения»

#### Кинематика и динамика колебательного движения

**1.1.** Частота колебаний крыльев пчелы  $\nu_1=400$  Гц, а период колебаний крыльев комара  $T_2=2$  мс. На сколько больше взмахов крыльями сделает комар за время  $t=0,5$  мин, чем пчела.

**1.2.** Когда пчела летит на клеверное поле, ее крылья колеблются с частотой  $\nu_1=400$  Гц, а когда летит обратно, то частота колебаний ее крыльев  $\nu_2=300$  Гц. Скорость полета пчелы на поле  $\upsilon_1=8$  м/с, а обратно  $\upsilon_2=5$  м/с, расстояние от улья до поля  $S = 200$  м. Найти разность  $\Delta N$  между числом взмахов крыльев пчелы при полете на поле и обратно.

*Ответ:*  $\Delta N = S(\nu_2 / \upsilon_2 - \nu_1 / \upsilon_1) = 2 \cdot 10^3$ .

**1.3.** Колебательное движение точки описывается уравнением  $x = 0,05 \cos 20\pi t$  см. Найти зависимость скорости и ускорения точки от времени, координату  $x_1$ , скорость  $\upsilon_1$  и ускорение  $a_1$  спустя  $t = 1/60$  с от начала колебания. Найти максимальную скорость  $\upsilon_m$  и максимальное ускорение точки  $a_m$ .

*Ответ:*  $\upsilon = -3,14 \sin 20\pi t$  см/с,  $a = -1,97 \cos 20\pi t$  м/с<sup>2</sup>,  
 $x_1 = 2,5 \cdot 10^{-4}$  м,  $\upsilon_1 = -0,027$  м/с,  $a_1 = -0,99$  м/с<sup>2</sup>,  $\upsilon_m = 0,0314$  м/с,  
 $a_m = 1,97$  м/с<sup>2</sup>.

**1.4.** Уравнение колебаний точки имеет вид  $x = 0,08 \cos \pi(t + 0,2)$  м. Определить амплитуду  $A$ , период  $T$  и начальную фазу  $\varphi_0$  колебаний точки.

*Ответ:*  $A = 0,08$  м,  $T = 2$  с,  $\varphi_0 = \pi/5$  рад.



**1.5.** Амплитуда гармонического колебания точки  $A = 5$  см, период  $T = 4$  с. Найти максимальную скорость точки  $v_m$ , а также ее скорость  $v$  через  $t_1 = T/8$  от начала колебания. Найти максимальное ускорение  $a_m$  этой точки, а также ускорение  $a$  через  $t_2 = T/8$  от момента времени, когда скорость точки стала равна  $v$ .

*Ответ:*  $v_m = 2\pi A/T = 0,078$  м/с,  $v = -v_m \sin(\pi/4) = 0,055$  м/с,  
 $a_m = (2\pi/T)^2 A = 0,12$  м/с<sup>2</sup>,  $a = a_m \cos(\pi/2) = 0$ .

**1.6.** Ареометр, погруженный в жидкость, совершает вертикальные гармонические колебания с малой амплитудой. Найдите период этих колебаний. Масса ареометра равна 40 г, радиус его трубки 2 мм, плотность жидкости 0,8 г/см<sup>3</sup>. Сопротивлением жидкости пренебречь.

*Ответ:* 4 с.

**1.7.** Материальная точка совершает гармонические колебания с амплитудой  $A = 10$  см и периодом  $T = 2$  с. Написать уравнение этих колебаний  $x = x(t)$  и найти фазу колебаний  $\varphi_1$ , когда смещение точки стало равно  $x_1 = 5$  см.

*Ответ:*  $x = 0,1 \cos \pi t$  м,  $\varphi_1 = \pi/3$  рад.

**1.8.** Материальная точка совершает гармонические колебания, уравнение которых имеет вид  $x = 2 \cos 5t$  см. Найти максимальные скорость  $v_m$  и ускорение  $a_m$  точки.

*Ответ:*  $v_m = 0,1$  м/с,  $a_m = 0,5$  м/с<sup>2</sup>.

**1.9.** Составить уравнение гармонического колебания точки  $x = x(t)$ , если амплитуда колебаний  $A = 5$  см, период колебания  $T = 0,5$  с и начальная фаза колебания  $\varphi_0 = 90^\circ$ . Построить график зависимости  $x = x(t)$ .

*Ответ:*  $x = 0,05 \cos(4\pi t + \pi/2)$  м.

**1.10.** Уравнение движения материальной точки имеет вид  $x = 0,2 \cos \pi t$  м. Чему равны средняя скорость  $v_{cp}$  и среднее ускорение точки  $a_{cp}$  за время  $t = 3T/4$  с?

*Ответ:*  $v_{cp} = 0,4$  м/с,  $a_{cp} = 0,4$  м/с<sup>2</sup>.

**1.11.** На рис. 1. приведен график зависимости скорости материальной точки от времени колебаний. Определить, пользуясь графиком, амплитуду  $A$  и циклическую (круговую) частоту  $\omega$  колебаний. Записать уравнение колебаний  $x = x(t)$ .

Ответ:  $A = 0,25$  м,  
 $\omega = 0,25\pi$  рад/с,  
 $x = 0,25 \cos 0,25\pi t$ .

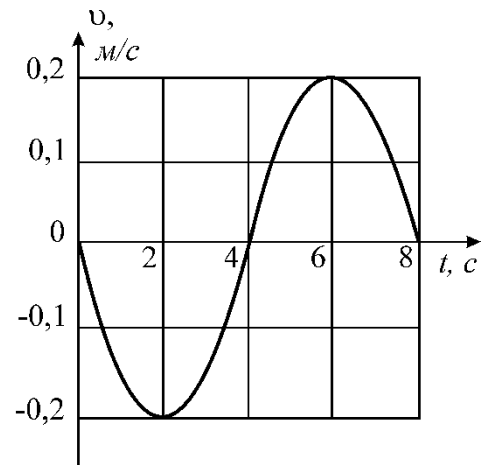


Рис. 1.

**1.12.** На рис. 2 приведен график зависимости ускорения  $a$  колебаний материальной точки от времени  $t$ . Определить амплитуду  $A$  и циклическую частоту  $\omega$  колебаний. Записать уравнение колебаний  $x = x(t)$ .

Ответ:  $A = 0,016$  м,  
 $\omega = 0,5\pi$  рад/с,  
 $x = 0,016 \cos 0,5\pi t$ .

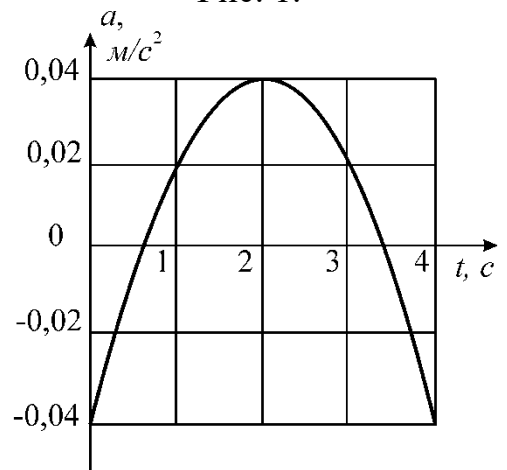


Рис. 2.

**1.13.** Составить уравнение гармонического колебания точки  $x = x(t)$ , если амплитуда колебаний  $A = 5$  см, период колебания  $T = 0,5$  с и начальная фаза колебания  $\varphi_0 = 90^\circ$ . Построить график зависимости  $x = x(t)$ .

Ответ:  $x = 0,05 \cos(4\pi t + \pi/2)$  м.

**1.14.** Полная энергия тела, совершающего гармоническое колебательное движение,  $E = 3 \cdot 10^{-5}$  Дж, максимальная сила, действующая на тело,  $F_m = 1,5 \cdot 10^{-3}$  Н. Написать уравнение движения этого тела, если период колебаний  $T = 2$  с и начальная фаза  $\varphi_0 = 60^\circ$ .

Ответ:  $x = 0,04 \cos(\pi t + \pi/3)$  м.

**1.15.** Амплитуда гармонических колебаний материальной точки  $A = 2$  см, полная энергия колебаний  $E = 3 \cdot 10^{-7}$  Дж. При каком смещении  $x$  от положения равновесия на колеблющуюся точку действует сила  $F = 2,25 \cdot 10^{-3}$  Н?

Ответ:  $x = \frac{FA^2}{2E} = 1,5$  м.

**1.16.** Определите отношение кинетической энергии  $T$  точки, совершающей гармонические колебания, к ее потенциальной энергии  $\Pi$ , если известна фаза колебаний.

*Ответ:*  $T/\Pi = \operatorname{tg}^2(\omega_0 t + \varphi)$ .

**1.17.** При фазе  $\alpha_1 = \pi/3$  рад смещение  $x_1 = 1$  см. Найти амплитуду  $A$  и смещение  $x_2$  при фазе  $\alpha_2 = 3\pi/4$  рад.

*Ответ:*  $A = 0,02$  м,  $x_2 = -0,014$  м.

**1.18.** Материальная точка массой  $m$  колеблется с частотой  $\nu$  и амплитудой  $A$ . Найти зависимость от времени  $t$  потенциальной и кинетической энергии  $\Pi$  и  $T$ . Какова полная механическая энергия  $E$  этой точки?

*Ответ:*  $\Pi = 2m(\pi\nu A)^2 \cos^2(2\pi\nu t + \varphi_0)$ ,

$$T = 2m(\pi\nu A)^2 \sin^2(2\pi\nu t + \varphi_0), \quad E = 2m(\pi\nu A)^2.$$

**1.19.** Человек массой  $m = 80$  кг качается на качелях. Амплитуда его колебаний  $A = 1$  м. За  $t_1 = 1$  мин он совершает  $N = 15$  полных колебаний. Найти кинетическую энергию  $T$  и потенциальную энергию  $\Pi$  качающегося человека через  $t = T/6$ . Начальная фаза  $\varphi_0 = 0$ .

*Ответ:*  $\Pi = 2m[A\pi N \cos(\pi/3)/t_1]^2 = 24,6$  Дж,

$$T = 2m(A\pi N/t_1) - \Pi = 74,0 \text{ Дж}.$$

**1.20.** Через какое время, считая от начала колебания, смещение гармонически колеблющейся точки составит  $\sqrt{3}/2$  амплитуды? Период колебаний точки  $T = 2$  с.

*Ответ:*  $t = T/12 = 1/6$  с.

**1.21.** Через какое время  $t$ , считая от начала колебания, смещение  $x$  гармонически колеблющейся точки составит  $1/\sqrt{2}$  амплитуды  $A$ ? Частота колебаний точки  $\nu = 0,2$  Гц.

*Ответ:*  $t = 1/(8\nu) = 0,6$  с.

## Математический и пружинный маятники

**2.1.** Легкая пружина с жесткостью  $k = 0,2$  Н/м подвешена к штативу. В некоторый момент к ее свободному концу подвесили гирию массой  $m = 100$  г и осторожно отпустили. Запишите уравнение колебаний груза  $x = x(t)$ , приняв за начало отсчета колебаний и времени положение равновесия пружины с грузом.

*Ответ:*  $x = mg \cos t \sqrt{k/m} / k$ .

**2.2.** На идеально гладкой поверхности стола закреплена легкая пружина с жесткостью  $k$ , к концу которой прикреплен шарик массой  $m$ . Стол движется горизонтально со скоростью  $U_0$  и в некоторый момент времени резко останавливается. С какой амплитудой  $A$  шарик начнет

совершать колебания? Чему будут равны период колебаний  $T$  и максимальное ускорение шарика  $a_m$ ?

$$\text{Ответ: } A = v_0 \sqrt{\frac{m}{k}}, T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}, a_m = \frac{k}{m} A.$$

**2.3.** К пружине подвешен груз. Зная, что максимальная кинетическая энергия колебаний груза  $T_m = 1$  Дж, найти жесткость пружины  $k$ . Амплитуда колебаний  $A = 5$  см.

$$\text{Ответ: } k = 2T_m / A^2 = 800 \text{ Н/м.}$$

**2.4.** Между точками  $B$  и  $C$  шарик массой  $m$  совершает гармонические колебания с периодом  $T$ . Определить величину возвращающей силы  $F$  и кинетическую энергию  $T$  шарика по прошествии времени  $t$  после прохождения им положения равновесия, если расстояние  $BC$  равно  $2l$ .

$$\text{Ответ: } F = 4ml(\pi/T)^2 \sin(2\pi t/T), T = 2m(\pi l/T)^2 \cos^2(2\pi t/T).$$

**2.5.** К резиновому шнуру длиной  $l_0 = 40$  см с радиусом поперечного сечения  $r = 1$  мм подвешена гиря массой  $m = 0,5$  кг. Определить период  $T$  вертикальных колебаний гири, если модуль Юнга для резины  $E = 3$  Н/мм<sup>2</sup>.

$$\text{Ответ: } T = 2\pi \sqrt{ml_0 / (\pi E) / r}.$$

**2.6.** Жесткость пружин рессоры вагона  $k = 4,81 \cdot 10^5$  Н/м. Масса вагона с грузом  $M = 6,4 \cdot 10^4$  кг. Вагон имеет  $n = 4$  рессоры. При такой скорости  $v$  вагон начнет сильно раскачиваться вследствие толчков на стыках рельсов, если длина рельса  $l = 12,8$  м.

$$\text{Ответ: } v = l \sqrt{nk / m} / (2\pi) = 11,2 \text{ м/с.}$$

**2.7.** Во сколько раз изменится частота колебаний резиновой нити, если от нее отрезать четверть длины, а груз оставить тот же?

$$\text{Ответ: } v_2 / v_1 = 1,15.$$

**2.8.** Во сколько раз изменится частота колебаний рессор автомобиля, если в него положить груз, масса которого составляет половину массы автомобиля?

$$\text{Ответ: } \text{уменьшится в } 1,2 \text{ раза.}$$

**2.9.** В шар массой  $M$  (рис. 3) попадает летевшая со скоростью  $v$  пуля, масса которой в 10 раз меньше массы шара. С какой частотой  $\nu$  станет колебаться шар с пулей? Чему будет равна амплитуда колебаний  $A$ , если жесткость пружины  $k$ ?

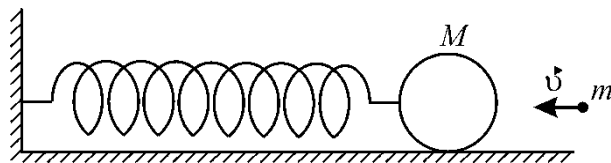


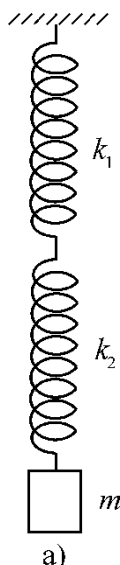
Рис. 3.

$$\text{Ответ: } \nu = \sqrt{k / (1,1M)} / 2\pi,$$

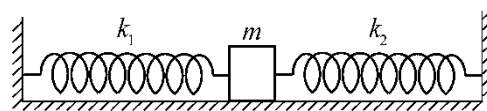
$$A = 0,1Mv / \sqrt{1,1kM}.$$

**2.10.** Во сколько раз частота колебаний груза массой  $m$  на рис. 4а больше частоты колебаний этого же груза, изображенного на рис.4б? Жесткости пружин  $k_1$  и  $k_2$  известны.

Ответ:  $\nu_1 / \nu_2 = \sqrt{k_1 k_2}$ .



а)



б)

Рис. 4

**2.11.** Два бруска массами по  $m$  каждый сжимают пружину, будучи связаны нитью (рис. 5). Когда нить пережигают, они начинают колебаться с частотой  $\nu$ . Чему равна жесткость пружин  $k$ .

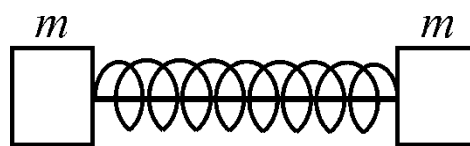


Рис. 5

Ответ:  $k = 2m(\pi\nu)^2$ .

**2.12.** Математический маятник подвешен на нити и совершает гармонические колебания. Во сколько раз изменится частота его колебаний, если температура в помещении, где он находится, повысится от  $t_1$  °C до  $t_2$  °C? Температурный коэффициент линейного расширения материала нити  $\alpha$  известен.

Ответ:  $\frac{\nu_2}{\nu_1} = \sqrt{(1 + \alpha t_1) / (1 + \alpha t_2)}$ .

**2.13.** Как относятся длины математических маятников, если за одно и то же время один из них совершает  $N_1 = 10$ , а второй  $N_2 = 20$  колебаний?

Ответ:  $l_2 / l_1 = (N_1 / N_2)^2 = 1/4$ .

**2.14.** Математический маятник подвесили на нити в вертикальном электрическом поле, направленном вниз. Период его свободных колебаний  $T_0 = 0,626$  с. После помещения в электрическое поле период колебаний шарика стал  $T = 0,314$  с. С какой силой  $F$  действовало электрическое поле на шарик, если масса шарика  $m = 1$  г? Какова длина нити  $l$ , на которой подвешен шарик?

Ответ:  $F = m(l(2\pi/T)^2 - g) = 0,029$  Н,  $l = g(T_0 / (2\pi))^2 = 0,098$  м.

**2.15.** Для определения ускорения  $a$ , с которым поднимается ракета, в нее был помещен математический маятник длиной  $l$ , который при взлете совершил  $N$  полных колебаний за время  $t$ . Найти ускорение  $a$  ракеты.

*Ответ:*  $a = l(2\pi N/t)^2 - g$ .

**2.16.** Медный стержень с диаметром поперечного сечения  $d$  подвешен за середину к пружине и совершает гармонические колебания в однородном магнитном поле с индукцией  $\vec{B}$ . Вектор  $\vec{B}$  направлен перпендикулярно плоскости колебаний. Полная механическая энергия колебаний стержня равна  $E$ . Определить максимальное значение ЭДС электромагнитной индукции  $\varepsilon_m$ , возбуждаемое в стержне в процессе колебаний. Длина стержня  $l$ .

*Ответ:*  $\varepsilon_m = B\sqrt{8El/(\pi\rho)}/d$ .

**2.17.** Математический маятник массой  $m$ , подвешенный на нити длиной  $l$ , совершает гармонические колебания в однородном электрическом поле плоского воздушного конденсатора ( $\varepsilon = 1$ ) с зарядом  $q$  на обкладках. Обкладки расположены вертикально, площадь обкладок  $S$ . Найти частоту колебаний  $\nu$  этого маятника. Заряд маятника  $q_0$ .

*Ответ:*  $\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{l} \sqrt{g^2 + \left(\frac{qq_0}{\varepsilon\varepsilon_0 mS}\right)^2}}$ .

**2.18.** Найти период колебаний математического маятника длиной  $l$ , подвешенного в вагоне, если поезд, двигаясь равноускоренно без начальной скорости ( $v_0 = 0$ ), за время  $t$  прошел путь  $S$ .

*Ответ:*  $T = 2\pi\sqrt{l/\sqrt{(2S/t^2)^2 + g^2}}$ .

**2.19.** Маятниковые часы, выверенные при комнатной температуре, «уходят» за  $t = 1$  сут на  $\Delta t = 2$  мин вследствие изменения длины маятника, вызванного понижением температуры. Во сколько раз нужно изменить длину маятника  $l_0/l$ , чтобы часы шли верно.

*Ответ:*  $l_0/l = 1/(1 - \Delta t/t)^2 = 1,0028$ .

**2.20.** Математический маятник установлен на тележке, скатывающейся без трения с наклонной плоскости, составляющей угол  $\alpha$  с горизонтом. Чему равен период  $T$  колебаний маятника во время движения тележки? Длина маятника  $l$ .

*Ответ:*  $T = 2\pi\sqrt{l/(g \cos \alpha)}$ .

**2.21.** Математический маятник длиной  $l$  при совершении гармонических колебаний сталкивается с упругой массивной стенкой в моменты, когда он принимает вертикальные положения. Найти частоту колебаний маятника  $\nu$ . Длительностью столкновений пренебречь.

*Ответ:*  $\nu = \sqrt{g/l}/\pi$ .

**2.22.** Период колебаний первого математического маятника  $T_1$ , а второго  $T_2$ . Чему равен период колебаний  $T$  маятника, длина которого равна сумме длин первого и второго маятников?

*Ответ:*  $T = \sqrt{T_1^2 + T_2^2}$ .

**2.23.** К пружине подвешена чаша весов с гирями. При этом период вертикальных колебаний чаши равен  $T_1 = 0,5$  с. После того, как на чашу весов положили добавочную гирию, период колебаний стал  $T_2 = 0,6$  с. Насколько удлинилась пружина от прибавления добавочной гири?

*Ответ:*  $\Delta l = g(T_2^2 - T_1^2)/(4\pi^2) = 2,7 \cdot 10^{-2}$  м.

**2.24.** Чему равно отношение потенциальной энергии точки  $\Pi$ , совершающей гармоническое колебание, к ее кинетической энергии  $T$ , для момента времени  $t = T/6$ ? Начальная фаза колебаний равна нулю.

*Ответ:*  $\Pi/T = 3$ .

**2.25.** Гирия, подвешенная к пружине, колеблется по вертикали с амплитудой  $A = 4$  см. Определить полную энергию колебаний  $E$  гири, если под действием силы  $F = 10$  Н пружина удлиняется на  $x = 0,5$  м.

*Ответ:*  $E = FA^2/(2x) = 1,6 \cdot 10^{-2}$  Дж.

**2.26.** Математический маятник колеблется с частотой  $\nu$ . Амплитуда его колебаний  $A$ . Чему будет равна скорость  $\upsilon$  маятника в тот момент, когда его потенциальная энергия станет равна кинетической? Начальная фаза колебаний равна нулю.

*Ответ:*  $\upsilon = \sqrt{2\pi\nu A}$ .

### Физический маятник

**3.1.** Маятник состоит из очень легкого стержня, на котором закреплены два одинаковых груза – один на расстоянии 30 см от оси, другой на расстоянии 15 см от оси. Каков период колебаний такого маятника?

*Ответ:*  $T = 1,74$  с.

**3.2.** Определить период колебания однородного шара около горизонтальной оси, проходящей через точку, отстоящую от центра шара на расстоянии 0,3 радиуса шара. Радиус шара равен 6 см.

*Ответ:*  $T = 0,63$  с.

**3.3.** На концах тонкого стержня длиной  $L = 1$  м и массой  $m_3 = 400$  г укреплены шарики малых размеров массами  $m_1 = 200$  г и  $m_2 = 300$  г. Стержень колеблется около горизонтальной оси, перпендикулярной стержню и проходящей через его середину (точка  $O$  на рис. 6) определить период  $T$  колебаний, совершаемых стержнем.

*Ответ:*  $T = 2,17$  с.

**3.4.** Шар, радиус которого 5 см, подвешен на нити длиной 10 см. Определить относительную погрешность, которую допускают, если, вычисляя период колебаний маятника, принимают его за математический маятник длиной 15 см.

*Ответ:* 2,2 %.

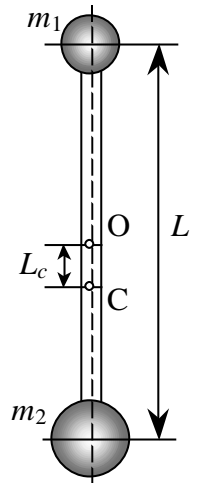


Рис.6.

**3.5.** Тонкая однородная пластина в форме равностороннего треугольника с высотой  $h$  и массы  $m$  совершает малые колебания вокруг горизонтальной оси, совпадающей с одной из его сторон. Определить момент инерции пластины относительно центра масс, если период колебаний маятника равен

$$T = \pi \sqrt{\frac{2h}{g}}.$$

*Ответ:*  $J_0 = \frac{mh^2}{18}.$

**3.6.** Два физических маятника совершают малые колебания вокруг одной и той же горизонтальной оси с частотами  $\omega_1$  и  $\omega_2$ . Их моменты инерции относительно данной оси равны соответственно  $J_1$  и  $J_2$ . Маятники привели в состояние устойчивого равновесия и скрепили друг с другом. Какова будет частота малых колебаний составного маятника?

*Ответ:*  $\omega = \sqrt{\frac{J_1\omega_1^2 + J_2\omega_2^2}{J_1 + J_2}}.$

**3.7.** Тонкий однородный стержень длиной  $l=60$  см может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси, отстоящей на расстоянии  $x=15$  см от его середины. Определите период колебаний стержня, если он совершает малые колебания.

*Ответ:*  $T = 1,19$  с.

**3.8.** Физический маятник представляет собой тонкий однородный стержень длиной 35 см. Определите, на каком расстоянии от центра масс должна быть точка подвеса, чтобы частота колебаний была максимальной.

*Ответ:*  $x = 10,1$  см.

**3.9.** Физический маятник представляет собой тонкий однородный стержень длиной  $l$  и массой  $m$ , который колеблется относительно оси проходящей через один из его концов. На стержне находится груз массой  $M$ .



Определите, на каком расстоянии от центра масс должен находиться груз, чтобы частота колебаний была максимальной.

**3.10.** Однородный диск радиусом  $R = 20$  см колеблется около горизонтальной оси, проходящей на расстоянии  $l = 15$  см от центра диска. Определите период  $T$  колебаний диска относительно этой оси.

*Ответ:*  $T = 1,07$  с.

**3.11.** Некоторое тело качается около оси с периодом  $T_1 = 0,5$  с. Если же к нему прикрепить грузик массой  $m = 50$  г на расстоянии  $l = 10$  см ниже оси, то оно качается с периодом  $T = 0,6$  с. Найти момент инерции тела относительно оси качания.

*Ответ:*  $J = 0,12 \cdot 10^{-3}$  кг·м<sup>2</sup>.

**3.12.** Математический маятник длиной  $l_1 = 0,4$  м и физический маятник в виде тонкого прямого стержня длиной  $l_2 = 0,6$  м синхронно колеблются около одной и той же горизонтальной оси. Определить расстояние  $d$  центра тяжести стержня от оси колебаний.

*Ответ:*  $d = 0,1$  м.

**3.13.** Тело массой  $m = 4$  кг, закрепленное на горизонтальной оси, совершало колебания с периодом  $T_1 = 0,8$  с. Когда на эту ось был насажен диск радиуса  $R = 0,2$  м и массой  $M = 4$  кг так, что геометрическая ось диска совпала с осью колебаний тела, период колебаний стал  $T_2 = 1,2$  с. Найти момент инерции тела  $J$  относительно оси колебаний.

*Ответ:*  $J = 6,4 \cdot 10^{-2}$  кг·м<sup>2</sup>.

**3.14.** Физический маятник совершает малые колебания вокруг горизонтальной оси  $O$  с частотой  $\omega_1 = 15,0$  с<sup>-1</sup>. Если в положении равновесия к нему прикрепить под осью  $O$  на расстоянии  $l = 20$  см от нее небольшое тело массы  $m = 50$  г, то частота колебаний становится  $\omega_2 = 10,0$  с<sup>-1</sup>. Найти момент инерции первоначального маятника относительно оси  $O$ .

*Ответ:*  $J = 0,8 \cdot 10^{-3}$  кг·м<sup>2</sup>.

**3.15.** Тонкое кольцо радиуса  $R$  совершает малые колебания около точки  $O$  (рис. 7). Найти их период, если колебания происходят: а) в плоскости рисунка; б) в направлении, перпендикулярном плоскости рисунка.

*Ответ:* а)  $T = 2\pi\sqrt{2R/g}$ ; б)  $T = 2\pi\sqrt{3R/2g}$ .

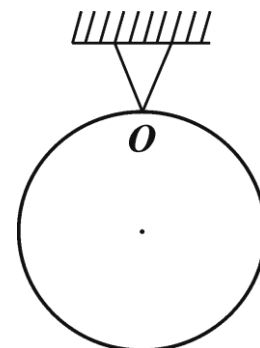


Рис. 7

**3.16.** Обруч диаметром 19,8 см висит на гвозде, вбитом в стену. Его отклоняют от положения равновесия. Начинаются колебания в плоскости,

параллельной стене. Определите период и приведенную длину физического маятника.

*Ответ:*  $T = 0,88$  с;  $d = 0,198$  см.

**3.17.** Физический маятник установили так, что его центр тяжести оказался над точкой подвеса. Из этого положения маятник начал двигаться к положению устойчивого равновесия, которое он прошел с угловой скоростью  $\omega$ . Найти период малых колебаний этого маятника.

*Ответ:*  $T = 4\pi/\omega$ .

**3.18.** Однородный стержень длины  $l$  совершает малые колебаний вокруг горизонтальной оси  $OO'$ , перпендикулярной стержню и проходящей через одну из его точек. Найти расстояние между центром стержня и осью  $OO'$ , при котором период колебаний будет наименьшим.

*Ответ:*  $x = l/\sqrt{12}$ .

**3.19.** Сплошной однородный цилиндр радиуса  $r$  катается без скольжения по внутренней стороне цилиндрической поверхности радиуса  $R$ , совершая малые колебания. Найти их период.

*Ответ:*  $T = 2\pi\sqrt{3(R-r)/2g}$ .

**3.20.** Шар, радиус которого  $R = 5$  см, подвешен на нити длиной  $L_0 = 10$  см. Определить относительную погрешность, которую допускают, если, вычисляя период колебаний маятника, принимают его за математический маятник длиной  $L = 15$  см.

*Ответ:* 2,2%.

**3.21.** Найти период колебаний физического маятника в зависимости от угловой амплитуды.

### Сложение колебаний

**4.1.** Складываются два гармонических колебания одного направления, описываемых уравнениями  $x_1 = 3\cos 2\pi t$ , см и  $x_2 = 3\cos(2\pi t + \pi/4)$ , см. Определите для результирующего колебания: 1) амплитуду; 2) начальную фазу. Запишите уравнение результирующего колебания и представьте векторную диаграмму сложения амплитуд.

*Ответ:* 1)  $A = 5,54$  см; 2)  $\varphi = \pi/8$ ; 3)  $x = 5,54\cos\left(2\pi t + \frac{\pi}{8}\right)$ , см.

**4.2.** Найти амплитуду  $A$  и начальную фазу  $\varphi_0$  гармонического колебания, полученного от сложения одинаково направленных колебаний, заданных уравнениями  $x_1 = 4\cos \pi t$  и  $x_2 = 3\cos(\pi t + \pi/2)$ . Написать уравнение результирующего колебания.

*Ответ:*  $A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos(\pi/2)} = 0,05$  м,

$\operatorname{tg}\varphi_0 = \frac{A_2\sin(\pi/2)}{A_1 + A_2\cos(\pi/2)} = 0,75$ ,  $\varphi_0 = 37^\circ$ ,  $x = 0,05\cos(\pi t + 0,2\pi)$ .

**4.3.** Найти амплитуду  $A$  колебаний, которые возникают при сложении следующих колебаний одного направления:  $x_1 = 3,0 \cos \omega t$ , см  $x_2 = 5,0 \cos(\omega t + \pi/4)$ , см и  $x_3 = 6,0 \sin \omega t$  см.

*Ответ:*  $A = 7$  см.

**4.4.** Амплитуда результирующего колебания, получающегося при сложении двух одинаково направленных гармонических колебаний одинаковой частоты, обладающих разностью фаз  $60^\circ$ , равна  $A=6$  см. Определите амплитуду  $A_2$  второго колебания, если  $A_1=5$  см.

*Ответ:*  $A_2=1,65$  см.

**4.5.** В результате сложения двух одинаково направленных гармонических колебаний с одинаковыми амплитудами и одинаковыми периодами получается результирующее колебание с тем же периодом и той же амплитудой. Найти разность фаз складываемых колебаний.

*Ответ:*  $\Delta\varphi = 2\pi/3$  рад.

**4.6.** Точка участвует одновременно в двух гармонических колебаниях, происходящих во взаимно перпендикулярных направлениях и описываемых уравнениями  $x = 3 \cos \omega t$ , см и  $y = 4 \cos \omega t$ , см. Определите уравнение траектории точки и вычертите ее с нанесением масштаба.

*Ответ:*  $y = 4x/3$ .

**4.7.** Точка одновременно участвует в двух взаимно перпендикулярных колебаниях, выражаемых уравнениями  $x = 2 \cos \omega t$ ,  $y = \sin \omega t$ . Определить траекторию точки.

*Ответ:*  $\frac{x^2}{4} + \frac{y^2}{1} = 1$  - эллипс.

**4.8.** При сложении двух гармонических колебаний одного направления результирующее колебание точки имеет вид  $x = a \cos 2,1t \cdot \cos 50,0t$ , где  $t$  - в секундах. Найти круговые частоты складываемых колебаний и период биений.

*Ответ:*  $\omega_1=47,9 \text{ с}^{-1}$ ,  $\omega_2=52,1 \text{ с}^{-1}$ ,  $T=1,5$  с.

**4.9.** Складываются два гармонических колебания одного направления, имеющие одинаковые амплитуды и одинаковые начальные фазы, с периодами  $T_1=2$  с и  $T_2=2,05$  с. Определите: 1) период результирующего колебания; 2) период биения.

*Ответ:* 1)  $T=2,02$  с; 2)  $T_6=82$  с.

**4.10.** Точка одновременно участвует в двух взаимно перпендикулярных колебаниях, выражаемых уравнениями  $x = 2 \sin \omega t$  и  $y = 2 \cos \omega t$ . Найти траекторию результирующего колебания.

*Ответ:*  $\frac{x^2}{4} + \frac{y^2}{4} = 1$  - уравнение окружности с радиусом 2 м

**4.11.** На горизонтальной поверхности лежит шарик массой  $m$ , прикрепленный к вертикальной стенке пружиной жесткостью  $k$ . Шарик оттянули от положения равновесия на расстояние  $x_0$  и толкнули к положению равновесия, сообщив ему скорость  $v_0$ . Найти амплитуду  $A$  колебаний шарика.

*Ответ:*  $A = \sqrt{x_0^2 + mv_0^2/k}$ .

**4.12.** Материальная точка движется так, что ее координаты  $x$  и  $y$  совершают гармонические колебания по законам  $x = \sin \omega t$  и  $y = \cos 2\omega t$ . Записать уравнение траектории точки.

*Ответ:*  $y = A(1 - 2x^2/A^2)$  - уравнение параболы.

**4.13.** Два математических маятника подвешены на нитях длиной  $l_1 = 1$  м и  $l_2 = 0,25$  м так, что их свободные концы находятся на одном уровне (рис. 6). Найти число столкновений  $N$  этих маятников за время  $t = 2$  с от начала движения второго маятника.

*Ответ:*  $N = 3$ .

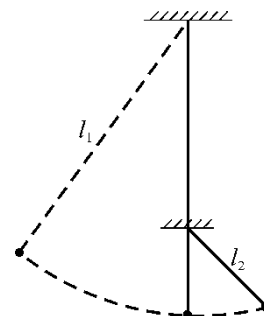


Рис. 6

**4.14.** Точка участвует одновременно в двух колебаниях одного направления, которые происходят по законам  $x_1 = A \cos \omega t$  и  $x_2 = A \cos 2\omega t$ . Найти максимальную скорость точки.

*Ответ:*  $v_{\max} = 2,73A\omega$ .

**4.15.** Найти уравнение траектории  $y(x)$  точки, если она движется по закону: а)  $x = A \sin \omega t$ ,  $y = A \sin 2\omega t$ ; б)  $x = A \sin \omega t$ ,  $y = A \cos 2\omega t$ . Изобразить примерные графики этих траекторий.

*Ответ:* а)  $y^2 = 4x^2 \left(1 - \frac{x^2}{A^2}\right)$ ; б)  $y = A \left(1 - \frac{2x^2}{A^2}\right)$ .

**4.16.** Точка участвует одновременно в двух гармонических колебаниях, происходящих во взаимно перпендикулярных направлениях и описываемых уравнениями  $x = 3 \cos(2\omega t)$ , см и  $y = 4 \cos(2\omega t + \pi)$ , см. Определите уравнение траектории точки и вычертите ее с нанесением масштаба.

*Ответ:*  $y = -4x/3$ .

**4.17.** Складываются два колебания одинакового направления, выражаемых уравнениями  $x_1 = A_1 \cos \omega(t + \tau_1)$ ,  $x_2 = A_2 \cos \omega(t + \tau_2)$ , где  $A_1 = 1$  см;  $A_2 = 2$  см;  $\tau_1 = \frac{1}{6}$  с;  $\tau_2 = \frac{1}{2}$  с;  $\omega = \pi \text{ с}^{-1}$ . Определить начальные фазы  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  составляющих колебаний; найти амплитуду  $A$  и начальную фазу  $\varphi$  результирующего колебания.

*Ответ:*  $\varphi_1 = \frac{\pi}{6}$  рад,  $\varphi_2 = \frac{\pi}{2}$  рад;  $\varphi = 70,9^\circ = 0,394 \pi$  рад;  $A = 2,65$  см.

**4.18.** Точка совершает одновременно два гармонических колебания одинаковой частоты, происходящих по взаимно перпендикулярным направлениям и выражаемых уравнениями:  $x = A \cos \omega t$  и  $y = A_1 \cos \omega t$ . Найти уравнение траектории точки, построить ее с соблюдением масштаба и указать направление движения. Принять:  $A = 2$  см;  $A_1 = 3$  см.

*Ответ:*  $y = \frac{A_1 x}{A}$ ,  $y = \frac{3}{2} x$ .

**4.19.** Точка совершает одновременно два гармонических колебания одинаковой частоты, происходящих по взаимно перпендикулярным направлениям и выражаемых уравнениями:  $x = A \cos \omega t$  и  $y = A \cos(\omega t + \varphi_1)$ . Найти уравнение траектории точки, построить ее с соблюдением масштаба и указать направление движения. Принять:  $A = 2$  см;  $\varphi_1 = \frac{\pi}{2}$ .

*Ответ:*  $x^2 + y^2 = A^2$ ,  $x^2 + y^2 = 4$ .

**4.20.** Точка совершает одновременно два гармонических колебания одинаковой частоты, происходящих по взаимно перпендикулярным направлениям и выражаемых уравнениями:  $x = A_2 \cos \omega t$  и  $y = A_1 \cos(\omega t + \varphi_2)$ . Найти уравнение траектории точки, построить ее с соблюдением масштаба и указать направление движения. Принять:  $A = 2$  см;  $A_2 = 1$  см;  $\varphi_2 = \pi$ .

*Ответ:*  $y = -\frac{A_2 x}{A_1}$ ,  $y = -\frac{1}{2} x$ .

**4.21.** Точка совершает одновременно два гармонических колебания одинаковой частоты, происходящих по взаимно перпендикулярным направлениям и выражаемых уравнениями:  $x = A \cos \omega t$  и  $y = A_1 \sin \omega t$ . Найти уравнение траектории точки, построить ее с соблюдением масштаба и указать направление движения. Принять:  $A = 2$  см;  $A_1 = 3$  см.

*Ответ:*  $\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} = 1$ ,  $\frac{x^2}{4} + \frac{y^2}{9} = 1$ .

### Затухающие колебания

**5.1.** Амплитуда затухающих колебаний маятника за время  $t_1 = 5$  мин уменьшилась в два раза. За какое время  $t_2$ , считая от начального момента, амплитуда уменьшится в восемь раз.

*Ответ:*  $t_2 = 900$  с.

**5.2.** За время  $t = 8$  мин амплитуда затухающих колебаний маятника уменьшилась в три раза. Определить коэффициент затухания  $\delta$ .

*Ответ:*  $\delta = 0,0023$  Гц.

**5.3.** Амплитуда колебаний маятника длиной  $l=1$  м за время  $t=10$  мин уменьшилась в два раза. Определить логарифмический декремент затухания  $\theta$

*Ответ:*  $\theta=2,31 \cdot 10^{-3}$ .

**5.4.** Логарифмический коэффициент затухания  $\theta$  маятника равен 0,003. Определить число  $N$  полных колебаний, которые должен сделать маятник, чтобы амплитуда уменьшилась в два раза.

*Ответ:*  $N=231$ .

**5.5.** Гирия массой  $m=500$  г подвешена к спиральной пружине жесткостью  $k=20$  Н/м и совершает упругие колебания в некоторой среде. Логарифмический коэффициент затухания  $\theta=0.004$ . Определить число  $N$  полных колебаний, которые должна совершить гирия, чтобы амплитуда колебаний уменьшилась в два раза. За какое время  $t$  произойдет это уменьшение.

*Ответ:*  $N=173, t=172$  с.

**5.6.** Тело массой  $m=5$  г совершает затухающие колебания. В течение времени  $t=50$  с тело потеряло 60 % своей энергии. Определить коэффициент сопротивления  $r$ .

*Ответ:*  $r=9,16 \cdot 10^{-5}$  кг/с.

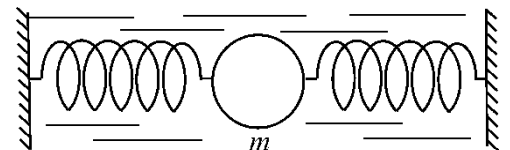
**5.7.** Определить период  $T$  затухающих колебаний, если период  $T_0$  собственных колебаний системы равен 1 с и логарифмический декремент затухания  $\theta=0,628$ .

*Ответ:*  $T=1,005$  с.

**5.8.** Найти число  $N$  полных колебаний системы, в течение которых энергия системы уменьшилась в  $n=2$  раза. Логарифмический декремент затухания  $\theta=0,01$ .

*Ответ:*  $N=35$ .

**5.9.** Тело массой  $m=1$  кг находится в вязкой среде с коэффициентом сопротивления  $r=0,05$  кг/с. С помощью одинаковых пружин жесткостью  $k=50$  Н/м каждая тело удерживается в положении равновесия, пружины



**Рис. 8**

при этом не деформированы (рис. 8). Тело сместили от положения равновесия и отпустили. Определить: 1) коэффициент затухания  $\delta$ ; 2) частоту  $\nu$  колебаний; 3) логарифмический декремент колебаний  $\theta$ ; 4) число  $N$  колебаний, по прошествии которых амплитуда уменьшится в  $e$  раз.

*Ответ:* 1)  $\delta=0,025$ ; 2)  $\nu=1,59$  Гц; 3)  $\theta=0,0157$ ; 4)  $N=64$ .

**5.10.** Найти добротность математического маятника длины  $L=50$  см, если за промежуток времени  $\tau=5,2$  мин его полная механическая энергия уменьшилась в  $\eta=4 \cdot 10^4$  раз.

$$\text{Ответ: } Q \approx \frac{1}{2} \sqrt{\frac{4g\tau^2}{L \ln^2 \eta} - 1} = 1,3 \cdot 10^2.$$

**5.11.** Период затухающих колебаний  $T = 1$  с, логарифмический декремент затухания  $\theta = 0,3$ , начальная фаза равна нулю. Смещение точки при  $t = 2T$  составляет 5 см. Запишите уравнение движения этого колебания.

$$\text{Ответ: } x = 9,1 e^{-0,3} \cos 2\pi t, \text{ см.}$$

**5.12.** Тело массой  $m = 0,6$  кг, подвешенное к спиральной пружине жесткостью  $k = 30$  Н/м, совершает в некоторой среде упругие колебания. Логарифмический декремент колебаний  $\theta = 0,01$ . Определите: 1) время, за которое амплитуда колебаний уменьшится в 3 раза; 2) число полных колебаний, которые должна совершить гиря, чтобы произошло подобное уменьшение амплитуды.

$$\text{Ответ: } t_1 = 97,6 \text{ с; } N_1 = 110.$$

**5.13.** Какова общая сумма путей, пройденных взад и вперед колеблющейся точкой до полного затухания колебаний, если амплитуда первого колебания равна 1 мм, а логарифмический декремент затухания равен 0,002.

$$\text{Ответ: } 2 \text{ м.}$$

**5.14.** Через сколько времени энергия колебаний камертона с частотой  $\nu = 600$  Гц уменьшится в  $n = 10^6$  раз, если логарифмический декремент затухания равен 0,0008?

$$\text{Ответ: } t = 14 \text{ с.}$$

**5.15.** Каков логарифмический декремент затухания маятника длиной 0,8 м, если его начальная амплитуда  $5^\circ$ , а через 5 мин амплитуда равна  $0,5^\circ$ ?

$$\text{Ответ: } \theta = 0,014.$$

**5.16.** Осциллятор со временем релаксации  $\tau = 20$  с в момент  $t = 0$  имеет начальное смещение  $x_0 = 10$  см. При каком значении начальной скорости  $\dot{x}_0$  это смещение окажется равным своей амплитуде?

$$\text{Ответ: } \dot{x}_0 = -0,5 \text{ см/с.}$$

**5.17.** К пружине подвесили грузик, и она растянулась на  $\Delta x = 9,8$  см. С каким периодом будет колебаться грузик в вертикальном направлении? Логарифмический декремент затухания  $\theta = 3,1$ .

$$\text{Ответ: } T = 0,7 \text{ с.}$$

**5.18.** Частицу сместили из положения равновесия на расстояние  $l = 1,0$  см и предоставили самой себе. Какой путь пройдет, колеблясь, эта частица до полной остановки, если логарифмический декремент затухания  $\theta = 0,02$ ?

$$\text{Ответ: } s = 2 \text{ м.}$$

**5.19.** Однородный диск радиуса  $R = 13$  см может вращаться вокруг горизонтальной оси, перпендикулярной к его плоскости и проходящей через край диска. Найти период малых колебаний этого диска, если логарифмический декремент затухания  $\theta = 1,00$ .

*Ответ:*  $T=0,9$  с.

**5.20.** Точка совершает колебания с частотой  $\omega=25$  с<sup>-1</sup>. Найти коэффициент затухания  $\delta$ , если в начальный момент скорость точки равна нулю, а ее смещение из положения равновесия в  $\eta=1,020$  раза меньше амплитуды.

*Ответ:*  $\delta=5$  с<sup>-1</sup>.

**5.21.** Математический маятник совершает колебания в среде, для которой логарифмический декремент затухания  $\theta_0=1,50$ . Каким будет значение  $\theta$ , если сопротивление среды увеличить в  $n=2,00$  раза? Во сколько раз следует увеличить сопротивление среды, чтобы колебания стали невозможны?

*Ответ:*  $\theta=3,3$ ;  $n'=4,3$ .

**5.22.** Найти добротность осциллятора, у которого: а) амплитуда смещения уменьшается в  $\eta=2,0$  раза через каждые  $n=110$  периодов колебаний; б) собственная частота  $\omega_0=100$  с<sup>-1</sup> и время релаксации  $\tau=60$  с.

*Ответ:* а)  $\theta=500$ ; б)  $\theta=3 \cdot 10^3$ .

**5.23.** Найти добротность математического маятника длины  $l=50$  см, если за  $\tau=5,2$  мин его полная механическая энергия уменьшилась в  $\eta=4 \cdot 10^4$  раз.

*Ответ:*  $\theta=1,3 \cdot 10^2$ .

### Вынужденные колебания. Резонанс

**6.1.** Груз массой  $m=25$  г, подвешенный на нити длиной  $l=10$  см, колеблется в жидкости. Коэффициент сопротивления  $r=0,05$  кг/с. На тело действует вынуждающая сила, меняющаяся по закону  $F=0,2 \sin \omega t$  (Н). Определить, при какой частоте вынуждающей силы амплитуда вынужденных колебаний будет максимальна. Найти амплитуду колебаний для частоты  $\omega=20$  с<sup>-1</sup>.

*Ответ:*  $\omega=9,8$  с<sup>-1</sup>,  $A=2,7 \cdot 10^{-2}$  м.

**6.2.** Гирия массой  $m=400$  г, подвешенная на спиральной пружине жесткостью  $k=40$  Н/м, опущена в масло. Коэффициент сопротивления  $r$  для этой системы составляет  $0,5$  кг/с. На верхний конец пружины действует вынуждающая сила, изменяющаяся по закону  $F=\cos \omega t$ , Н. Определите: 1) амплитуду вынужденных колебаний, если частота вынуждающей силы вдвое меньше собственной частоты колебаний; 2) частоту вынуждающей силы при которой амплитуда вынужденных колебаний максимальна; 3) резонансную амплитуду.

*Ответ:* 1)  $A=0,033$  м; 2)  $\omega_{\text{рез}}=9,96$  с<sup>-1</sup>; 3)  $A_{\text{рез}}=0,2$  м.

**6.3.** Гирия массой  $m=200$  г, подвешенная на спиральной пружине жесткостью  $k=50$  Н/м, совершает колебания в вязкой среде с коэффициентом сопротивления  $r=0,2$  кг/с. На верхний конец пружины



действует вынуждающая сила, изменяющаяся по закону  $F = 2 \cos \omega t$ , Н. Определите: 1) частоту  $\nu_0$  собственных колебаний; 2) резонансную частоту  $\nu_{\text{рез}}$ ; 3) резонансную амплитуду  $A_{\text{рез}}$ ; 4) статическое отклонение.

*Ответ:* 1)  $\nu_0 = 7,96$  Гц; 2)  $\nu_{\text{рез}} = 2$  см;  $A_{\text{рез}} = 0,02$  м; 4)  $4 \cdot 10^{-3}$  м.

**6.4.** Показать, что при вынужденных колебаниях работа сил трения (по модулю) за период равна работе внешних сил за то же время.

**6.5.** Некоторая резонансная кривая соответствует осциллятору с логарифмическим декрементом затухания  $\theta = 1,6$ . Найти для этой кривой отношение максимальной амплитуды смещения к амплитуде смещения при очень малой частоте.

*Ответ:*  $\eta = \frac{\pi}{\theta} \left( 1 + \frac{\theta^2}{4\pi^2} \right) = 2,1.$

**6.6.** На чашку весов массой  $M$ , подвешенную на пружине жесткостью  $k$ , с высоты  $h$  падает небольшой груз массой  $m$ . Удар груза на дно чашки является абсолютно неупругим. Чашка в результате падения груза начинает совершать колебания. Определите амплитуду  $A$  этих колебаний.

*Ответ:*  $A = \sqrt{\frac{m^2 g^2}{k^2} + \frac{2m^2 gh}{(m+M)k}}.$

**6.7.** Во сколько раз амплитуда вынужденных колебаний будет меньше резонансной амплитуды, если частота изменения вынуждающей силы будет больше резонансной частоты: 1) на 10% ?; 2) в два раза? Коэффициент затухания  $\delta$  в обоих случаях принять равным  $0,1\omega_0$  ( $\omega_0$  - круговая частота собственных колебаний).

*Ответ:* 1) 1,53; 2) 15,2.

**6.8.** Шарик массы  $m = 50$  г подвешен на невесомой пружине жесткости  $k = 20$  Н/м. Под действием вынуждающей вертикальной гармонической силы с частотой  $\omega = 25$  с<sup>-1</sup> шарик совершает установившееся колебания. При этом смещение шарика отстает по фазе от вынуждающей силы на  $\varphi = \frac{3\pi}{4}$ . Найти добротность данного осциллятора.

*Ответ:*  $Q = \sqrt{\frac{\omega^2 \omega_0^2}{(\omega^2 - \omega_0^2) \tan^2 \varphi} - \frac{1}{4}} = 2,2$ , где  $\omega_0^2 = \frac{k}{m}$ .

**6.9.** Шарик массы  $m$ , подвешенный на невесомой пружинке, может совершать вертикальные колебания с коэффициентом затухания  $\delta$ . Собственная частота колебаний  $\omega_0$ . Под действием внешней вертикальной силы, меняющейся по закону  $F_x = F_0 \cos \omega t$ , шарик совершает установившееся гармонические колебания. Найти: 1) среднюю за период колебания мощность  $P_{\text{ср}}$  силы  $F$ ; 2) частоту  $\omega$  вынуждающей силы, при которой  $P_{\text{ср}}$  максимальна; 3) чему равна  $P_{\text{max}}$ ?

$$\text{Ответ: } 1) P_{\text{cp}} = \frac{F_0^2 \delta \omega^2}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\delta^2 \omega^2}; 2) \omega = \omega_0; 3) P_{\text{max}} = \frac{F_0^2}{4\delta m}.$$

**6.10.** На горизонтальной пружине  $k=900$  Н/м укреплен шар массой  $M = 4$  кг, лежащий на гладком столе, по которому он может скользить без трения. Пуля массой  $m= 10$  г, летящая с горизонтальной скоростью  $v_0 = 600$  м/с и имеющая в момент удара скорость, направленную вдоль пружины, попала в шар и застряла в нем. Пренебрегая массой пружины и сопротивлением воздуха, определите: 1) амплитуду колебаний шара; 2) период колебаний шара.

$$\text{Ответ: } T = 0,419 \text{ с; } A = 10 \text{ см.}$$

**6.11.** Амплитуды скорости вынужденных колебаний при частотах вынуждающей силы, равных  $\nu_1 = 200$  Гц и  $\nu_2 = 300$  Гц, равны между собой. Принимая, что амплитуда вынуждающей силы в обоих случаях одна и та же, найти частоту, соответствующую резонансу скорости.

$$\text{Ответ: } \nu = 245 \text{ Гц.}$$

**6.12.** Амплитуды смещений вынужденных колебаний при частотах вынуждающей силы, равных  $\nu_1 = 200$  Гц и  $\nu_2 = 300$  Гц, равны между собой. Найти частоту, соответствующую резонансу смещений.

$$\text{Ответ: } \nu = 255 \text{ Гц.}$$

**6.13.** К спиральной пружине жесткостью  $k = 10$  Н/м подвесили грузик массой  $m=10$  г и погрузили всю систему в вязкую среду. Приняв коэффициент сопротивления  $r$  равным  $0,1$  кг/с, определить:

1) частоту  $\nu_0$  собственных колебаний; 2) резонансную частоту  $\nu_{\text{рез}}$ ; 3) резонансную амплитуду  $A_{\text{рез}}$ , если вынуждающая сила изменяется по гармоническому закону и ее амплитудное значение  $F_0=0,02$  Н; 4) отношение резонансной амплитуды к статическому смещению под действием силы  $F_0$ .

$$\text{Ответ: } 1) \nu_0 = 5,03 \text{ Гц; } 2) \nu_{\text{рез}} = 4,91 \text{ Гц; } 3) A_{\text{рез}} = 6,4 \cdot 10^{-3} \text{ м; } 4) 3,2.$$

**6.14.** Шарик массы  $m$  может совершать незатухающие гармонические колебания около точки  $x=0$  с собственной частотой  $\omega_0$ . В момент  $t=0$ , когда шарик находился в состоянии равновесия, к нему приложили вынуждающую силу  $F_x = F_0 \cos \omega t$ , совпадающую по направлению с осью  $X$ . Найти закон вынужденных колебаний шарика  $x(t)$ .

$$\text{Ответ: } x = (F_0 / m)(\cos \omega_0 t - \cos \omega t) / (\omega^2 - \omega_0^2).$$

**6.15.** Установить в условиях предыдущей задачи закон движения шарика  $x(t)$ , если частота вынуждающей силы равна собственной частоте  $\omega_0$  колебаний шарика.

$$\text{Ответ: } x = (F_0 t / 2m\omega_0) \sin \omega_0 t.$$

**6.16.** Оценить, через сколько времени установятся колебания в системе с добротностью  $Q = 10^6$  и собственной частотой  $\omega_0 = 5000 \text{ с}^{-1}$  при резонансном воздействии на эту систему вынуждающей гармонической силы.

*Ответ:*  $\tau = 4 \cdot 10^2 \text{ с}$ .

**6.17.** Найти добротность осциллятора, у которого отношение резонансной частоты  $\omega_{рез}$  к частоте затухающих колебаний  $\omega$  равно  $\eta = 0,97$ .

*Ответ:*  $\theta = 2$ .

**6.18.** Найти разность фаз  $\varphi$  между смещением и вынуждающей силой при резонансе смещения, если собственная частота  $\omega_0 = 50 \text{ с}^{-1}$  и коэффициент затухания  $\delta = 5,2 \text{ с}^{-1}$ .

*Ответ:*  $\varphi = 84^\circ$ .

**6.19.** Найти выражение для вынуждающей силы, под действием которой осциллятор массы  $m$  с коэффициентом затухания  $\delta$  испытывает колебания по закону  $x = a \sin(\omega_0 t - \varphi)$ , где  $\omega_0$  - собственная частота осциллятора.

*Ответ:*  $F(t) = 2\delta m a \omega_0 \cos(\omega_0 t - \varphi)$ .

**6.20.** Осциллятор массы  $m$  движется по закону  $x = a \sin \omega t$  под действием вынуждающей силы  $F_x = F_0 \cos \omega t$ . Найти коэффициент затухания  $\delta$  осциллятора.

*Ответ:*  $\delta = F_0 / (2m a \omega)$ .

**6.21.** Амплитуды смещений вынужденных гармонических колебаний при частотах  $\omega_1 = 400 \text{ с}^{-1}$  и  $\omega_2 = 600 \text{ с}^{-1}$  равны между собой. Найти частоту  $\omega$ , при которой амплитуда смещения максимальна.

*Ответ:*  $\omega_{рез} = 5,1 \cdot 10^2 \text{ с}^{-1}$ .

### Электромагнитные колебания в контуре

**7.1.** Колебательный контур содержит соленоид (длина  $l = 5 \text{ см}$ , площадь поперечного сечения  $S_1 = 1,5 \text{ см}^2$ , число витков  $N = 500$ ) и плоский конденсатор (расстояние между пластинами  $d = 1,5 \text{ мм}$ , площадь пластин  $S_2 = 100 \text{ см}^2$ ). Определить частоту  $\omega_0$  собственных колебаний контура.

*Ответ:*  $\omega_0 = 4,24 \cdot 10^6 \text{ рад/с}$ .

**7.2.** В цепь колебательного контура, содержащего последовательные соединенные резистор сопротивлением  $R = 40 \text{ Ом}$ , катушку индуктивностью  $L = 0,36 \text{ Гн}$  и конденсатор емкостью  $C = 28 \text{ мкФ}$ , подключено внешнее переменное напряжение с амплитудным значением  $U_m = 180 \text{ В}$  и частотой  $\omega = 314 \text{ рад/с}$ . Определите: 1) амплитудное значение силы тока  $I_m$  в цепи; 2) сдвиг  $\varphi$  по фазе между током и внешним напряжением.

*Ответ:* 1)  $I_m = 4,5 \text{ A}$ ; 2)  $\varphi = -1^\circ$ .

**7.3.** Сила тока в колебательном контуре, содержащем катушку индуктивностью  $L = 0,1 \text{ Гн}$  и конденсатор, со временем изменяется согласно уравнению  $J = -0,1 \sin 200\pi t$ , (А). Определите: 1) период колебаний; 2) емкость конденсатора; 3) максимальное напряжение на обкладках конденсатора; 4) максимальную энергию магнитного поля; 5) максимальную энергию электрического поля.

*Ответ:* 1)  $T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 10 \text{ мс}$ ; 2)  $C = \frac{T^2}{4\pi^2 L} = 25,3 \text{ мкФ}$ ; 3)  $U_m = \frac{I_m}{\omega_0 C} = 6,29$

В; 4)  $W_m^M = \frac{LI^2}{2} = 0,5 \text{ мДж}$ ; 5)  $W_m^э = \frac{CU_m^2}{2} = 0,5 \text{ мДж}$ .

**7.4.** Колебательный контур содержит катушку с общим числом витков  $N = 100$ , индуктивностью  $L = 10 \text{ мкГн}$  и конденсатор емкостью  $C = 1 \text{ нФ}$ . Максимальное напряжение  $U_m$  на обкладках конденсатора составляет  $100 \text{ В}$ . Определите максимальный магнитный поток, пронизывающий катушку.

*Ответ:*  $\Phi_m = 0,1 \text{ мкВб}$ .

**7.5.** Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью  $L = 0,2 \text{ мГн}$  и конденсатора площадью пластин  $S = 155 \text{ см}^2$ , расстояние между которыми  $d = 1,5 \text{ мм}$ . Зная, что контур резонирует на длину волны  $\lambda = 630 \text{ м}$ , определите диэлектрическую проницаемость среды, заполняющей пространство между пластинами конденсатора.

*Ответ:*  $\varepsilon = 6,11$ .

**7.6.** В колебательный контур, содержащий последовательно соединенные конденсатор и катушку с активным сопротивлением, подключено внешнее переменное напряжение, которого можно менять не меняя его амплитуду. При частотах внешнего напряжения  $\omega_1 = 400 \text{ рад/с}$  и  $\omega_2 = 600 \text{ рад/с}$  амплитуды силы тока в цепи оказались одинаковыми. Определите резонансную частоту тока.

*Ответ:*  $\omega_{рез} = 490 \text{ рад/с}$ .

**7.7.** Через какое время  $t$ , считая от начала колебания, энергия электрического поля конденсатора  $W_{эл}$  станет равна энергии магнитного поля катушки  $W_m$ ? Период колебаний в контуре  $T = 2 \text{ мкс}$ .

*Ответ:*  $t = 0,25 \text{ мкс}$ .

**7.8.** Во сколько раз изменятся частота и период колебаний в колебательном контуре, если емкость конденсатора увеличить в 36 раз, а индуктивность катушки уменьшить в 9 раз?

*Ответ:*  $T_2 / T_1 = 2$ ,  $\nu_2 / \nu_1 = 1/2$ .

**7.9.** Резонанс в колебательном контуре, содержащем конденсатор емкостью  $C_1 = 1 \text{ мкФ}$ , наступает при частоте  $\nu_1 = 400 \text{ Гц}$ . Когда же параллельно конденсатору  $C_1$  подключают еще один емкостью  $C_2$ ,

резонансная частота становится  $\nu_2 = 100$  Гц. Найти емкость конденсатора  $C_2$

*Ответ:*  $C_2 = 1,5 \cdot 10^{-5}$  Ф.

**7.10.** Батарею из двух одинаковых конденсаторов емкостью  $C = 0,01$  мкФ каждый заряжают от источника постоянного напряжения и подключают к катушке индуктивностью  $L = 8$  мкГн. Найдите период  $T$  и частоту  $\nu$  возникающих в контуре электромагнитных колебаний, если конденсаторы соединены: а) последовательно; б) параллельно.

*Ответ:* а)  $T = 1,3$  мкс,  $\nu = 800$  кГц; б)  $T = 2,5$  мкс,  $\nu = 400$  кГц.

**7.11.** Батарею из двух одинаковых конденсаторов емкостью  $C = 0,01$  мкФ каждый заряжают от источника постоянного напряжения и подключают к катушке индуктивностью  $L = 8$  мкГн, напряжение источника  $U_M = 200$  В. Какова максимальная сила тока  $I_M$ , если конденсаторы соединены: а) последовательно; б) параллельно.

*Ответ:* а) 5 А; б) 10 А.

**7.12.** Батарею из двух одинаковых конденсаторов соединенных параллельно емкостью  $C = 0,01$  мкФ каждый заряжают от источника постоянного напряжения и подключают к катушке индуктивностью  $L = 8$  мкГн. Найдите силу тока в колебательном контуре: а) через  $t_1 = 0,31$  мкс после подключения батареи конденсаторов к катушке; б) в момент, когда напряжение на батарее конденсаторов  $U = 100$  В.

*Ответ:* а) 7 А; б) 8,74 А.

**7.13.** Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью  $L = 10$  мГн, конденсатора электроемкостью  $C = 0,1$  мкФ и резистора сопротивлением  $R = 20$  Ом. Определить через сколько полных колебаний амплитуда силы тока в контуре уменьшится в  $e$  раз.

*Ответ:*  $N = 5$ .

**7.14.** Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью  $C = 2,22$  нФ и катушки, намотанной из медной проволоки диаметром  $d = 0,55$  мм. Длина катушки  $l = 20$  см. Найти логарифмический декремент затухания колебаний.

**7.15.** Колебательный контур имеет емкость 1,1 нФ и индуктивность  $5 \cdot 10^{-3}$  Гн. Логарифмический декремент затухания равен 0,005. За сколько времени потеряется вследствие затухания 99 % энергии контура?

**7.16.** Дроссель с индуктивностью 2 Гн и сопротивлением 1 Ом зашунтирован конденсатором емкостью  $10^{-4}$  Ф. На конденсатор подается напряжение  $U = 100 \sin 50t$  ( $U$  в вольтах). а) Чему равен ток в источнике? б) При каком значении частоты подаваемого напряжения мощность тепловых потерь в дросселе будет минимальной? в) Чему равна эта мощность?

*Ответ:* а)  $I = 7,1 \cdot 10^{-2} \sin 10(5t - 10)$ ; б) 71 Гц; в)  $\approx 1,75 \cdot 10^{-3}$  Вт.

**7.17.** Какова относительная ошибка, которая будет сделана, если воспользоваться формулой Томсона  $T = 2\pi\sqrt{LC}$  для вычисления периода

колебания контура, состоящего из емкости  $C = 5000$  см и катушки, сделанной из медной проволоки, площадью сечения  $S = 0,2$  мм<sup>2</sup>? Длина катушки  $l = 50$  см. Диаметр катушки мал по сравнению с ее длиной.

$$\text{Ответ: } \frac{T_1 - T_2}{T_2} = 1 - \sqrt{1 - \frac{\rho^2 Cl}{4S^2 \mu}} = 2,5 \cdot 10^{-5}.$$

**7.18.** Конденсатор емкостью 1 мкФ с зарядом  $8 \cdot 10^{-5}$  Кл разряжается на катушку с индуктивностью 1,6 Гн и сопротивлением 40 Ом. Определите: а) закон изменения напряжения на конденсаторе; б) логарифмический декремент затухания колебаний; в) долю периода, соответствующее изменению тока и напряжения от нуля до максимального значения; г) закон изменения энергии контура в зависимости от времени; д) отношение энергии магнитного поля в катушке к энергии электрического поля в конденсаторе в момент прохождения наибольшего тока; е) часть энергии резонансных колебаний, теряемых в контуре за время, равное периоду колебаний.

$$\text{Ответ: а) } U = 80 [\exp(-12,5t)] \cos 790t; \text{ б) } \approx 0,1; \text{ в) } \frac{t}{T} = \frac{1}{2\pi} \arctg 20\pi; \text{ г) } W(t) = 3,2 \cdot 10^{-3} [\exp(-25t)] (1 + 1,57 \cdot 10^{-2} \sin 1600t + 4,9 \cdot 10^{-4} \sin^2 800t); \text{ д) } 10^3; \text{ е) } \approx 20\%.$$

**7.19.** Емкость колебательного контура 1 мкФ, индуктивность 10 мГн. Какое омическое сопротивление нужно включить в цепь, чтобы уменьшить резонансную частоту незатухающих колебаний на 0,01%?

$$\text{Ответ: } \approx 2,8 \text{ Ом.}$$

**7.20.** Колебательный контур содержит конденсатор электроемкостью  $C = 5$  нФ и катушку индуктивностью  $L = 5$  мкГн и активным сопротивлением  $R = 0,1$  ом. Определить среднюю мощность  $P_{\text{ср}}$ , потребляемую колебательным контуром, при поддержании в нем незатухающих гармонических колебаний с амплитудным значением напряжения на конденсаторе  $U_{\text{мс}} = 10$  в.

$$\text{ответ: } P_{\text{ср}} = 5 \text{ мВт.}$$

### Переменный ток

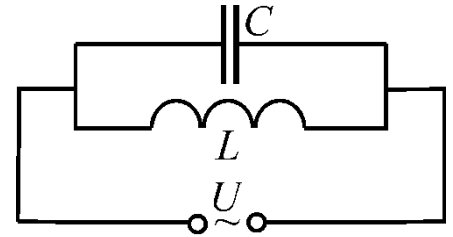
**8.1.** В цепь переменного тока частотой  $\nu = 50$  Гц параллельно включены резистор и катушка индуктивностью  $L = 0,1$  мГн. Определите сопротивление резистора, если сдвиг фаз между током и внешним напряжением равен  $60^\circ$ .

$$\text{Ответ: } R = 5,44 \text{ Ом.}$$

**8.2.** В цепь переменного тока с амплитудным значением внешнего напряжения  $U_m = 110$  В последовательно включены резистор сопротивления  $R = 55$  Ом, конденсатор электроемкостью  $C = 0,1$  мкФ и катушка индуктивностью  $L = 1$  мГн. Определите: циклическую частоту, при которой наступит резонанс; амплитудные значения силы тока и напряжений на элементах цепи при резонансе.

*Ответ:*  $\omega_{рез} = 10^5$  рад/с;  $(J_m)_{рез} = 2$  А;  $(U_R)_{рез} = 110$  В;  $(U_C)_{рез} =$   
 $(U_L)_{рез} = 200$  В.

**8.3.** В цепи переменного тока (см. рисунок) с частотой  $\nu = 50$  Гц амплитуда силы тока внешней (неразветвленной цепи) равна нулю. Определите индуктивность  $L$  катушки, если емкость  $C$  конденсатора равна 10 мкФ.



*Ответ:*  $L = 1,05$  Гн.

**8.4.** Колебательный контур содержит катушку индуктивностью  $L = 1$  мкГн и конденсатор емкостью  $C = 40$  нФ. Для поддержания в колебательном контуре незатухающих гармонических колебаний с амплитудным значением напряжения на катушке  $U_L = 1,5$  В необходимо подводить среднюю мощность  $(P) = 1,5$  мВт. Определите добротность колебательного контура.

*ОТВЕТ:*  $Q = 150$ .

**8.5.** Цепь переменного тока состоит из последовательно соединенных катушки, конденсатора и резистора. Амплитудное значение суммарного напряжения на катушке и конденсаторе  $U_{LC_m} = 173$  В, а амплитудное значение напряжения на резисторе  $U_{R_m} = 100$  В. Определите сдвиг фаз между током и внешним напряжением.

*Ответ:*  $\varphi = 60^\circ$ .

**8.6.** В цепь переменного тока частотой  $\nu = 50$  Гц последовательно включены резистор сопротивлением  $R = 100$  Ом и конденсатор емкостью  $C = 22$  мкФ. Определите, какая доля напряжения, приложенного к этой цепи, приходится на падение напряжения на конденсаторе.

*Ответ:*  $U_{C_m} / U_m = 0,823$ .

**8.7.** В цепь переменного тока с частотой  $\nu = 50$  Гц и действующим значением напряжения  $U = 300$  В последовательно включены конденсатор, резистор сопротивлением  $R = 50$  Ом и катушка индуктивностью  $L = 0,1$  Гн. Падения напряжения  $U_1 : U_2 = 1 : 2$ . Определите: 1) емкость конденсатора; 2) действующее значение силы тока.

*Ответ:* 1)  $C = 29,8$  мкФ; 2)  $I = 3,32$  А.

**8.8.** В цепи переменного тока с частотой  $\omega = 314$  рад/с вольтметр показывает нуль при  $L = 0,2$  Гн. Определите емкость конденсатора.

*Ответ:*  $C = 50$  мкФ.

**8.9.** В сеть переменного тока с действующим значением напряжения 120 В последовательно включены проводник с активным сопротивлением 10 Ом и катушка индуктивностью 0,1 Гн. Определите частоту  $\nu$  тока, если амплитудное значение силы тока в цепи равно 5 А.

*Ответ:*  $\nu = 51,6$  Гц.

**8.10.** В цепь переменного тока напряжением  $U_m=220$  В и частотой 50 Гц включена катушка с активным сопротивлением. Сдвиг фаз между током и напряжением составляет  $\pi/6$ . Определите индуктивность катушки, если известно, что она поглощает мощность 445 Вт.

*Ответ:*  $L=0,15$  Гн.

**8.11.** Цепь состоящая из последовательно соединенных безындукционного резистора сопротивлением  $R=100$  Ом и катушки с активным сопротивлением, включена в сеть с действующим напряжением  $U=300$  В. Воспользовавшись векторной диаграммой, определите тепловую мощность, выделяемую на катушке, если действующее значение напряжения на сопротивлении и катушке соответственно равно  $U_R=150$  В и  $U_L=250$  В.

*Ответ:*  $P_L=25$  Вт.

**8.12.** Изменение силы тока в зависимости от времени задано уравнением  $J=5\sin 200\pi t$ . Найти частоту  $\nu$  и период  $T$  колебаний, амплитуду силы тока  $J_m$ , а также мгновенную силу тока  $J$  при фазе  $\alpha = \pi/6$  рад. Все величины выражены в единицах СИ.

*Ответ:*  $J_m=5$  А;  $\nu=100$  Гц;  $T=0,01$  с;  $J=2,5$  А.

**8.13.** Амперметр, включенный в цепь переменного тока, показывает  $J=10$  А. Найти мгновенную силу тока  $J_0$  через  $1/12$  долю периода от начала колебания.

*Ответ:*  $J_0=7$  А.

**8.14.** Катушка индуктивностью  $L=6$  мГн с активным сопротивлением  $R=8$  Ом подключена к источнику переменного тока с циклической частотой  $\omega=10^3$  рад/с. Найти сдвиг фаз  $\varphi$  между колебаниями тока и напряжения.

*Ответ:*  $\varphi=37^\circ$ .

**8.15.** Конденсатор включен в цепь переменного тока стандартной частоты. Вольтметр, подключенный к этой цепи, показывает напряжение  $U=220$  В, а амперметр, включенный в нее, показывает силу тока  $J=2,5$  А. Какова емкость  $C$  конденсатора?

*Ответ:*  $C=3,6 \cdot 10^{-5}$  Ф.

**8.16.** В цепь переменного тока стандартной частоты с напряжением  $U=220$  В последовательно включены активное сопротивление  $R=150$  Ом и конденсатор емкостью  $C=16$  мкФ. Найти максимальное значение силы тока  $J_m$  в этой цепи.

*Ответ:*  $J_m=12,5$  А.

**8.17.** Катушка с ничтожно малым активным сопротивлением включена в цепь переменного тока стандартной частоты. При напряжении  $U=120$  В сила тока в этой цепи  $J=2,5$  А. Найти индуктивность катушки  $L$ .

*Ответ:*  $L=0,15$  Гн.



**8.18.** Написать уравнения, выражающие зависимость напряжения  $U = U(t)$  и силы тока  $J = J(t)$  от времени  $t$  в резисторе сопротивлением  $R = 100$  Ом, включенном в сеть переменного тока с напряжением  $U = 220$  В стандартной частоты.

*Ответ:*  $U = 311 \cos 100\pi t$ ;  $J = 3,11 \cos 100\pi t$ .

**8.19.** В цепь переменного тока с частотой  $\nu = 100$  Гц включена катушка индуктивностью  $L = 0,1$  Гн. Конденсатор какой емкости  $C$  надо включить в эту цепь, чтобы наступил резонанс напряжений?

*Ответ:*  $C = 2,5 \cdot 10^{-5}$  Ф.

**8.20.** В сеть переменного тока стандартной частоты включены последовательно резистор, катушка с индуктивностью  $L$  и воздушный конденсатор в виде двух круглых пластин диаметром  $D$  с расстоянием между обкладками  $d$ . Амперметр, включенный в эту сеть, показал ток силой  $J$ , амплитуда напряжения в сети  $U_m$ . Найти сопротивление резистора  $R$ .

*Ответ:*  $R = \sqrt{\left(\frac{U_m}{4J}\right)^2 - 4\left(\pi\nu L - \frac{d}{(\pi D)^2 \varepsilon_0 \varepsilon \nu}\right)^2}$ .

**8.21.** Участок цепи переменного тока состоит из резистора сопротивлением 10 Ом и катушки индуктивности. Вольтметр, подключенный параллельно к катушке, показал напряжение  $U_L = 4$  В, а амперметр, включенный в цепь последовательно, показал силу тока  $J = 2$  А. Найти максимальное напряжение  $U_m$  на концах этого участка.

*Ответ:*  $U_m = 29$  В.

**8.22.** Конденсатор емкостью  $C = 1$  мкФ, катушка индуктивностью  $L = 0,2$  Гн и резистор включены последовательно в цепь переменного тока стандартной частоты. Найти амплитуду напряжения на резисторе  $U_{mR}$ , если амплитуда силы тока в цепи  $J_m = 3$  А, а вольтметр, подключенный к концам цепи, показал напряжение  $U = 300$  В.

*Ответ:*  $U_{mR} = 385$  В.

**8.23.** Резистор сопротивлением  $R = 5$  Ом, катушка с индуктивностью  $L = 0,05$  Гн и конденсатор емкостью  $C = 0,2$  мФ соединены параллельно и подключены к источнику переменного тока стандартной частоты с действующим напряжением  $U = 220$  В. Найти максимальную силу тока  $J_m$  в неразветвленном участке этой цепи.

*Ответ:*  $J_m = 73$  А.

**8.24.** К катушке индуктивности подведено напряжение, изменяющееся по закону  $U = 100 \cos 100\pi t$  В. Амплитуда силы тока в катушке  $J_m = 8$  А, ее активное сопротивление  $R = 2$  Ом. Определить индуктивность катушки  $L$ , активную мощность тока в ней  $P$  и коэффициент мощности  $\cos \varphi$ .

*Ответ:*  $L = 9,3$  мГн;  $P = 226$  Вт;  $\cos \varphi = 0,565$ .

**8.25.** Конденсатор емкостью  $C = 2$  мкФ и катушка индуктивностью  $L = 3$  Гн соединены параллельно и подключены к источнику переменного напряжения с частотой  $\nu = 20$  Гц. Найти мгновенную силу тока  $J_L$  в катушке при резонансе токов, если мгновенная сила тока на участке с конденсатором  $J_C = 0,2$  А.

*Ответ:*  $J_L = 2,1$  А.

**8.26.** Две катушки с индуктивностями  $L_1$  и  $L_2$  соединены параллельно и подключены к конденсатору емкостью  $C$ . Найти силы токов  $J_1$  и  $J_2$  в каждой катушке. Амплитуда напряжений на конденсаторе  $U_m$ .

*Ответ:*  $J_1 = U_m \sqrt{\frac{CL_2}{2L_1(L_1 + L_2)}}, J_2 = J_1 \frac{L_1}{L_2}.$

**8.27.** В цепь с добротностью  $Q = 40$  включен источник переменного тока с амплитудой напряжения на выходе  $U_m = 10$  В. Найти амплитуды напряжений на конденсаторе  $U_{mC}$  и на катушке  $U_{mL}$ , включенных в эту цепь последовательно, если в ней наблюдается резонанс напряжений. Период колебаний напряжения на выходе  $T = 0,02$  с, активное сопротивление цепи  $R = 5$  Ом. Чему равны амплитуда силы тока  $J_m$ , волновое сопротивление цепи  $\rho$ , индуктивность катушки  $L$  и емкость конденсатора  $C$ ?

*Ответ:*  $L = 0,6$  Гн;  $C = 1,7 \cdot 10^{-5}$  Ф;  $\rho = 188$  Ом;  $J_m = 2$  А;  $U_{mC} = 374$  В;  $U_{mL} = 188$  В.

### Уравнение плоской волны. Стоячие волны

**9.1.** Задано уравнение плоской волны  $\xi(x, t) = A \cos(\omega t - kx)$ , где  $A = 0,5$  см;  $\omega = 628$  с<sup>-1</sup>;  $k = 2$  м<sup>-1</sup>. Определить: 1) частоту колебаний  $\nu$  и длину волны  $\lambda$ ; 2) фазовую скорость  $v$ ; 3) максимальные значения скорости  $\dot{\xi}_{\max}$  и ускорения  $\ddot{\xi}_{\max}$  колебаний частиц среды.

*Ответ:* 1)  $\nu = 100$  Гц,  $\lambda = 3,14$  м; 2)  $v = 314$  м/с; 3)  $\dot{\xi}_{\max} = 3,14$  м/с,  $\ddot{\xi}_{\max} = 1972$  м/с<sup>2</sup>.

**9.2.** Покажите, что выражение  $\xi(x, t) = A \cos(\omega t - kx)$  удовлетворяет волновому уравнению  $\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}$  при условии, что  $\omega = kv$ .

**9.3.** Плоская звуковая волна возбуждается источником колебаний частоты  $\nu = 200$  Гц. Амплитуда  $A$  колебаний источника равна 4 мм. 1) Написать уравнение колебаний источника  $\xi(0, t)$ , если в начальный момент смещение точек источника максимально; 2) Найти смещение  $\xi(x, t)$  точек среды находящихся на расстоянии  $x = 100$  см от источника, в момент  $t = 0,1$  с. Скорость  $v$  звуковой волны принять равной 300 м/с. Затуханием пренебречь.

*Ответ:* 1)  $\xi(0, t) = A \cos 2\pi\nu t$ ; 2)  $\xi = -2$  мм.

**9.4.** Звуковые колебания, имеющие частоту  $\nu=0,5$  кГц и амплитуду  $A=0,25$  мм, распространяются в упругой среде. Длина волны  $\lambda=70$  см. Найти: 1) скорость  $\upsilon$  распространения волн; 2) максимальную скорость  $\dot{\xi}_{\max}$  частиц среды.

*Ответ:* 1)  $\upsilon=350$  м/с; 2)  $\dot{\xi}_{\max}=0,79$  м/с.

**9.5.** Плоская звуковая волна имеет период  $T=3$  мс, амплитуду  $A=0,2$  мм и длину волны  $\lambda=1,2$  м. Для точек среды, удаленных от источника колебаний на расстояние  $x=2$  м найти: 1) смещение  $\xi(x, t)$  в момент времени  $t=7$  мс; 2) скорость  $\dot{\xi}_{\max}$  и ускорение  $\ddot{\xi}_{\max}$  для того же момента времени. Начальную фазу колебаний принять равной нулю.

*Ответ:* 1)  $\xi(x, t)=-9 \cdot 10^{-5}$  м; 2)  $\dot{\xi}_{\max}=0,42$  м/с,  $\ddot{\xi}_{\max}=882$  м/с<sup>2</sup>.

**9.6.** От источника колебаний распространяется волна вдоль прямой линии. Амплитуда  $A$  колебаний равна 10 см. Как велико смещение точки, удаленной от источника на  $x=3\lambda/4$ , в момент, когда от начала колебаний прошло время  $t=0,9T$ ?

*Ответ:*  $\xi=5,88$  см.

**9.7.** Волна с периодом  $T=1,2$  с и амплитудой колебаний  $A=2$  см распространяется со скоростью  $\upsilon=15$  м/с. Чему равно смещение  $\xi(x, t)$  точки, находящейся на расстоянии  $x=45$  м от источника волн, в тот момент, когда от начала колебаний источника прошло время  $t=4$  с?

*Ответ:*  $\xi=9,4 \cdot 10^{-3}$  м.

**9.8.** Две точки находятся на расстоянии  $x=50$  см друг от друга на прямой, вдоль которой распространяется волна со скоростью  $\upsilon=50$  м/с. Период  $T$  колебаний равен 0,05 с. Найти разность фаз  $\Delta\varphi$  колебаний в этих точках.

*Ответ:*  $\Delta\varphi=1,26$  рад.

**9.9.** Определить разность фаз  $\Delta\varphi$  колебаний источника волн, находящегося в упругой среде, и точки этой среды, отстоящей на  $x=2$  м от источника. Частота  $\nu$  колебаний равна 5 Гц, волны распространяются со скоростью  $\upsilon=40$  м/с.

*Ответ:*  $\Delta\varphi=1,57$  рад.

**9.10.** Волна распространяется в упругой среде со скоростью  $\upsilon=100$  м/с. Наименьшее расстояние  $\Delta x$  между точками среды, фазы колебаний которых противоположны, равно 1 м. Определить частоту  $\nu$  колебаний.

*Ответ:*  $\nu=50$  Гц.

**9.11.** Определить скорость  $\upsilon$  распространения волны в упругой среде, если разность фаз  $\Delta\varphi$  колебаний двух точек среды, отстоящих друг от друга на  $\Delta x=10$  см, равна  $\pi/3$ . Частота  $\nu$  колебаний равна 25 Гц.

*Ответ:*  $\upsilon=15$  м/с.

**9.12.** Скорость звука в воде  $v=1500$  м/с. На каком расстоянии  $S$  находятся ближайшие точки, колеблющиеся в противофазе, если период колебаний частиц  $T=0,05$  с?

$$\text{Ответ: } S = \Delta\alpha \frac{vT}{2\pi} = 29 \text{ м.}$$

**9.13.** Найти период колебаний точек волны  $T$ , лежащих на луче, вдоль которого волна распространяется, на расстоянии  $r=0,1$  м друг от друга, если эти точки колеблются в противофазе. Скорость волны  $v=2,4$  м/с.

$$\text{Ответ: } T = \frac{2\pi r}{\Delta\alpha v} = 0,5 \text{ с.}$$

**9.14.** Человеческое ухо может воспринимать звуки частотой от  $\nu_1=20$  Гц до  $\nu_2=20000$  Гц. Между какими длинами волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  лежит интервал слышимости звуковых колебаний? С какими амплитудами колеблются частицы воздуха при распространении в нем звуковой волны? Скорость звука в воздухе  $v_{зв}=340$  м/с. Максимальная скорость частиц воздуха  $v_{\max}=0,8$  м/с.

$$\text{Ответ: } \lambda_1 = v_{зв} / \nu_1 = 17 \text{ м, } \lambda_2 = v_{зв} / \nu_2 = 0,0017 \text{ м,}$$

$$A_1 = \frac{v_{\max}}{2\pi\nu_1} = 6,4 \cdot 10^3 \text{ м, } A_2 = \frac{v_{\max}}{2\pi\nu_2} = 6,4 \cdot 10^{-6} \text{ м.}$$

**9.15.** Движение некоторой точки незатухающей волны описывается уравнением  $x = 0,5 \cos 2\pi t$ . Написать уравнение движения точки, лежащей на луче на расстоянии  $r=30$  см от первой точки, если скорость распространения гребней  $v=0,6$  м/с.

$$\text{Ответ: } x = 0,05 \cos \pi(2t - 1) \text{ м.}$$

**9.16.** Уравнение незатухающих колебаний  $x_1 = 4 \cos 100\pi t$  см. Найти смещение  $x$  от положения равновесия точки, находящейся на расстоянии  $r=75$  см от источника колебаний, через  $t=0,01$  с после начала колебаний. Скорость распространения колебаний  $v=300$  м/с.

$$\text{Ответ: } x = 0,04 \cos \frac{3\pi}{4} = -0,028 \text{ м.}$$

**9.17.** Поперечная волна распространяется вдоль упруго шнура со скоростью  $v=15$  м/с. Период колебаний точек шнура  $T=1,2$  с. Найти волновое число  $k$  и максимальное ускорение точек шнура  $a_m$ . Амплитуда колебаний точек  $A=0,02$  мм.

$$\text{Ответ: } k = \frac{2\pi}{vT} = \frac{\pi}{9} \text{ рад/м, } a_m = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 A = 5,5 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}^2.$$

**9.18.** Найти смещение  $x$  от положения равновесия точки в бегущей волне, которая отстоит от источника колебаний на расстоянии  $r = \lambda/12$ , для

момента времени  $t = T/6$ , считая от начала колебаний точек. Амплитуда колебаний  $A = 0,05$  м.

*Ответ:*  $x = A\sqrt{3}/2 = 0,04$  м.

**9.19.** Найти координаты узлов и пучностей в стоячей волне для двух случаев: а) волна отражается от более плотной среды; б) волна отражается от менее плотной среды. Длина бегущей волны  $\lambda = 12$  см.

*Указание.* При отражении от более плотной среды в месте отражения наблюдается узел, а при отражении от менее плотной – пучность.

*Ответ:* а) координаты узлов  $x = 0; 6; 12; 18; \dots$  см, координаты пучностей  $x = 3; 9; 15; \dots$  см; б) наоборот.

**9.20.** Смещение от положения равновесия точки, отстоящей на  $r = 4$  см от источника колебаний, в момент времени  $t = \pi/6 T$  равно половине амплитуды. Найти длину бегущей волны. Начальная фаза равна нулю.

*Ответ:*  $\lambda = 12$  см.

**9.21.** Расстояние между соседними гребнем и впадиной  $S = 1,5$  м. Сколько полных колебаний  $N$  сделает поплавок за время  $t = 30$  с, упав на спокойную воду пруда, если скорость волны  $v = 2$  м/с?

*Ответ:*  $N = vt/(2S) = 20$ .

**9.22.** На спокойную поверхность озера с лодки бросили якорь. По водной поверхности от места бросания пошли волны. Наблюдатель на берегу заметил, что волна дошла до него через время  $t_1 = 40$  с

с момента бросания, а за время  $t_2 = 8$  с было насчитано  $N_1 = 15$  всплесков о берег. Человек на расстоянии  $S_1 = 2$  м насчитал  $N_2 = 4$  гребня. Чему равно расстояние  $S_0$  от лодки до берега? С какой скоростью  $v$  двигалась волна?

*Ответ:*  $S_0 = S_1 N_1 t_1 / (N_2 t_2) = 37,5$  м,  $v = \frac{S_0}{t_1} = 0,94$  м/с.

**9.23.** Когда наблюдатель воспринял по звуку, что самолет находится у него над головой, он увидел его под углом  $\alpha = 45^\circ$  к горизонту. На какой высоте  $H$  над землей летел самолет? Скорость звука  $v_{зв} = 340$  м/с. Расстояние  $S$  от наблюдателя до самолета в тот момент, когда он его заметил, равнялось 1 км. Сколько времени  $t$  шел звук от наблюдателя?

*Ответ:*  $H = S \sin \alpha = 700$  м,  $t = H / v_{зв} = 2$  с.

**9.24.** Из орудия произведен выстрел под углом  $\alpha = 45^\circ$  к горизонту. Артиллерист услышал звук взрыва через  $t = 2$  мин после выстрела. На каком расстоянии  $S$  от орудия разорвался снаряд, упав на землю?

*Ответ:*  $S = v_{зв} \left( t + \frac{v_{зв}}{g} \operatorname{tg} \alpha - \sqrt{\frac{v_{зв}}{g} \left( 2t + \frac{v_{зв}}{g} \operatorname{tg} \alpha \right) \operatorname{tg} \alpha} \right) = 19,5$  км.

**9.25.** Мотоциклист, движущийся по прямолинейному участку дороги, увидел, что человек стоящий у дороги, ударил стержнем по висящему рельсу,

а через  $\Delta t = 2$  с услышал звук. С какой скоростью  $v$  двигался мотоциклист, если он проехал мимо человека через  $t = 36$  с после начала наблюдения? Скорость звука в воздухе принять равной  $v_{зв} = 340$  м/с.

*Ответ:*  $v = v_{зв} \Delta t / (t - \Delta t) = 20$  м/с.

**9.26.** Длина волны в воздухе для самого низкого мужского голоса  $\lambda_1 = 4$  м, а для самого высокого женского голоса  $\lambda_2 = 0,25$  м. Найти разность частот  $\Delta \nu$  колебаний, приняв скорость звука  $v_{зв} = 340$  м/с. Найти разность периодов  $\Delta T$  колебаний.

*Ответ:*  $\Delta \nu = v_{зв} \left( \frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right) = 1275$  Гц,  $\Delta T = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{v_{зв}} = 0,01$  с.

**9.27.** Длина звуковой волны  $\lambda_1 = 3$  м, ее скорость в воздухе  $v_{зв1} = 340$  м/с. Чему равна длина звуковой волны  $\lambda_2$  в воде, если там ее скорость  $v_{зв2} = 1400$  м/с.

*Ответ:*  $\lambda_2 = \lambda_1 \frac{v_2}{v_1} = 12$  м.

**9.28.** Найти длину волны  $\lambda$ , если период колебаний частиц  $T = 0,2$  с волна за  $t = 10$  с пробегает  $r = 3$  км.

*Ответ:*  $\lambda = r \frac{T}{t} = 60$  м.

**9.29.** Определить скорость  $v$  распространения волн в упругой среде, если разность фаз колебаний двух точек среды  $\Delta \alpha = 60^\circ$ , а точки отстоят от источника колебаний на расстояниях  $r_1 = 20$  см и  $r_2 = 30$  см и находятся на одном луче. Частота колебаний  $\nu = 25$  Гц.

*Ответ:*  $v = 2\pi \nu \frac{r_2 - r_1}{\Delta \alpha} = 15$  м/с.

**9.30.** Волны распространяются в упругой среде со скоростью  $v = 100$  м/с. Наименьшее расстояние между точками среды, фазы колебаний которых противоположны, равно  $r = 1$  м. Определить частоту колебаний  $\nu$  частиц в волне.

*Ответ:*  $\nu = \Delta \alpha \frac{v}{2\pi r} = 50$  Гц.

### **Звуковые явления. Эффект доплера в акустике**

**10.1.** Какова амплитуда колебаний в звуковой волне в воздухе при речи средней громкости (максимальное давление около  $90$  Н/м<sup>2</sup>) при частоте  $400$  Гц? Давление нормальное, температура воздуха  $20^\circ\text{C}$ .

*Ответ:*  $A = 8,7 \cdot 10^{-7}$  м.

**10.2.** Какую долю от средней скорости молекул воздуха составляет максимальная акустическая скорость молекул при плоских волнах: а)

амплитуда давления  $\Delta p_1 = 900 \text{ Н/м}^2$  (сильный звук, вызывающий боль в ушах); б)  $\Delta p_1 = 9 \cdot 10^{-4} \text{ Н/м}^2$  (еле слышимый звук).

*Ответ:* а)  $4,7 \cdot 10^{-3}$ ; б)  $4,7 \cdot 10^{-9}$ .

**10.3.** В воздухе при температуре  $27^\circ\text{C}$  и при нормальном давлении идет звуковая волна, максимальное давление которой  $900 \text{ Н/м}^2$  (сильный звук, вызывающий боль в ушах). Определить температуру в месте максимального давления.

*Ответ:*  $27,76^\circ\text{C}$ .

**10.4.** Два звука разнятся по уровню ощущения на 1 дБ. Каково:

а) отношение их интенсивностей? б) отношение амплитуд давлений?

*Ответ:* а) 1,26; б) 1,12.

**10.5.** При амплитуде давления  $10 \text{ Н/м}^2$  уровень ощущения звука равен 60 дБ. Какова амплитуда давления для звука той же частоты при пороге слышимости?

*Ответ:*  $A = 0,01 \text{ Н/м}^2$ .

**10.6.** Звук распространяется по трубе длиной 50 м. Средний коэффициент поглощения можно принять равным  $10^{-6} \text{ м}^{-1}$ . Каков уровень ощущения звука у конца трубы, если у начала он равен 60 дБ?

*Ответ:* 51,3 дБ.

**10.7.** На расстоянии 10 м от источника звука, размеры которого малы, уровень ощущения звука равен 20 дБ. Пренебрегая затуханием, вычислить:

а) уровень ощущения на расстоянии 5 м; б) на каком расстоянии звук не слышен.

*Ответ:* а) 26 дБ; б) 100 м.

**10.8.** Наблюдатель, находящийся на расстоянии 10 м от звучащего камертона, отметил исчезновение звучания камертона на 20 с раньше, чем наблюдатель, находящийся на расстоянии 1 м. Определить коэффициент затухания колебаний камертона.

*Ответ:*  $0,12 \text{ с}^{-1}$ .

**10.9.** Определите интенсивность звука ( $\text{Вт/м}^2$ ), уровень интенсивности  $L$  которого составляет 67 дБ. Интенсивность звука на пороге слышимости  $I_0 = 10^{-12} \text{ Вт/м}^2$ .

*Ответ:*  $I = 5,01 \text{ мкВт/м}^2$ .

**10.10.** Разговор в соседней комнате громкостью 40 фон слышен так, как шепот громкостью 20 фон. Определите отношение интенсивностей этих звуков.

*Ответ:*  $I_1 / I_2 = 100$ .

**10.11.** Определите на сколько фонов увеличился уровень громкости звука, если интенсивность звука увеличилась: 1) в 1000 раз; 2) в 10000 раз.

*Ответ:* 1) на 30 фон; 2) на 40 фон.

**10.12.** Частота основного тона гудка паровоза 650 Гц. Какова кажущаяся частота гудка для наблюдателя, к которому паровоз приближается со скоростью 54 км/ч? Температура воздуха 16°C.

*Ответ:* 680 Гц.

**10.13.** Паровоз, движущийся со скоростью 72 км/ч, дает свисток в течение 2 с. Какова продолжительность звука, воспринятого неподвижным наблюдателем: а) если паровоз приближается к нему? б) если паровоз удаляется от него? Температура воздуха -17°C.

*Ответ:* а) 1,88 с; б) 2,12 с.

**10.14.** а) Наблюдателю, слушающему гудок автомобиля, кажется что при приближении автомобиля основной тон гудка на секунду выше (т.е. частота больше в  $\frac{9}{8}$  раза), чем при удалении. Определить скорость автомобиля, приняв скорость звука в воздухе равной 340 м/с. Считать воздух неподвижным.

б) Тот же вопрос в случае, если гудок неподвижен, а наблюдатель находится на автомобиле, сначала приближающемся, затем удаляющемся от гудка.

*Ответ:* а) и б) 72 км/ч.

**10.15.** Электропоезд проходит со скоростью 72 км/ч мимо неподвижного приемника и дает гудок, частота которого 300 Гц. Принимая скорость звука равной 340 м/с, определите скачок частоты, воспринимаемый приемником.

*Ответ:*  $\Delta\nu = 35,4$  Гц.

**10.16.** Движущийся по реке теплоход дает свисток частотой  $\nu_0 = 400$  Гц. Наблюдатель, стоящий на берегу, воспринимает звук свистка частотой  $\nu = 395$  Гц. Принимая скорость звука  $\upsilon = 340$  м/с, определите скорость движения теплохода. Приближается или удаляется теплоход.

*Ответ:*  $\upsilon_{\text{ист}} = 4,3$  м/с, теплоход удаляется.

**10.17.** Поезд проходит со скоростью 54 км/ч мимо неподвижного приемника и подает звуковой сигнал. Приемник воспринимает скачок частотой  $\Delta\nu = 53$  Гц. Принимая скорость звука равной 340 м/с, определите частоту тона звукового сигнала гудка поезда.

*Ответ:*  $\nu_0 = 599,5$  Гц.

**10.18.** Два катера движутся навстречу друг другу. С первого катера, движущегося со скоростью  $\upsilon_1 = 10$  м/с, посылается ультразвуковой сигнал частотой  $\nu_1 = 50$  кГц, который распространяется в воде. После отражения от второго катера сигнал принимается первым катером с частотой  $\nu_2 = 52$  кГц. Принимая скорость распространения звуковых колебаний в воде равной 1,54 км/с, определите скорость движения второго катера.

*Ответ:*  $\upsilon_2 = 20,2$  м/с.



**10.19.** Плотность  $\rho$  некоторого двухатомного газа при нормальном давлении равна  $1,78 \text{ кг/м}^3$ . Определите скорость распространения звука в газе при этих условиях.

*Ответ:*  $v=282 \text{ м/с}$ .

**10.20.** Средняя квадратичная скорость  $\bar{v}_{\text{кв}}$  молекул двухатомного газа при некоторых условиях составляет  $480 \text{ м/с}$ . Определите скорость  $v$  распространения звука в газе при тех же условиях.

*Ответ:*  $v=328 \text{ м/с}$ .

**10.21.** Во сколько раз скорость распространения звука в воздухе  $v_1$  летом, когда температура  $t_1=27 \text{ }^\circ\text{C}$ , больше скорости распространения  $v_2$  его зимой, когда температура воздуха  $t_2=-23 \text{ }^\circ\text{C}$ ?

*Ответ:*  $v_1/v_2 = \sqrt{T_1/T_2} = 1,1$ .

**10.22.** Найти скорость распространения  $v$  звука в двухатомном газе, где плотность  $\rho=1,3 \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^3$  при нормальном атмосферном давлении  $p=1 \cdot 10^5 \text{ Па}$ .

*Ответ:*  $v=328 \text{ м/с}$ .

### Энергия упругой волны. Амплитуда звуковой волны

**11.1.** По цилиндрической трубке диаметром  $5 \text{ см}$  бегут синусоидальные воздушные волны. Интенсивность волн равна  $8 \text{ эрг/см}^2 \cdot \text{с}$ , частота  $300 \text{ Гц}$ . а) Какую энергию несет каждая волна? б) Какова средняя и максимальная плотность энергии в волнах, если температура воздуха равна  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ ?

*Ответ:* а)  $0,52 \text{ эрг}$ , б)  $2,4 \cdot 10^{-4} \text{ эрг/см}^3$ ;  $4,8 \cdot 10^{-4} \text{ эрг/см}^3$ .

**11.2.** Точечный изотропный источник звуковых волн мощности  $N$  находится на перпендикуляре, восстановленном из центра воображаемого диска радиуса  $R$ , на расстоянии  $a$  от диска. Найти средний за период поток энергии через поверхность диска.

*Ответ:*  $\Phi_0 = \frac{N}{2} \cdot \left[ 1 - \frac{a}{\sqrt{(a^2 + R^2)}} \right]$ .

**11.3.** Найти энергию упругой стоячей волны в однородном тонком стержне массой  $m$ , один из концов которого закреплен, если на свободном конце созданы колебания с собственной частотой  $\nu_n$  и амплитудой  $a$ .

*Ответ:*  $W = \rho a^2 \omega_n^2 S l = 4\pi^2 \nu_n^2 a^2 m$ .

**11.4.** Плоская волна  $\xi = a \cos(\omega t - kz)$  распространяется в упругой среде плотностью  $\rho$ . Найти средний за период колебаний поток энергии плоской волны через поверхность полусферы, задаваемой уравнением  $z = \sqrt{R^2 - x^2 - y^2}$ .

*Ответ:*  $\Phi_{\text{ср}} = \frac{2\pi a^2 \omega^3 \rho}{k} \int_0^R z dz = \frac{\pi a^2 \omega^3 R^2 \rho}{2k}$ .

**11.5.** Источник звука небольших размеров имеет мощность 1 Вт при частоте  $\nu = 400$  Гц. Считая, что звук распространяется от источника одинаково во все стороны в воздухе, находящемся при нормальных условиях, и пренебрегая поглощением звука, определить амплитуду звукового давления, а также амплитуды скорости и смещения частиц воздуха на расстоянии  $r = 100$  м от источника звука.

*Ответ:*  $\Delta P_0 = 8,3 \cdot 10^2$  Па;  $v_0 = 1,9 \cdot 10^{-4}$  м/с;  $A = 7,6 \cdot 10^{-8}$  м.

**11.6.** Интенсивность волн на расстоянии 20 м от источника равна  $0,03$  эрг/см<sup>2</sup>·с. Какова интенсивность волн на расстоянии 100 м от источника, если коэффициент затухания равен  $5 \cdot 10^{-5}$  см<sup>-1</sup>?

*Ответ:*  $8 \cdot 10^{-4}$  эрг/см<sup>2</sup>·с.

**11.7.** Найти амплитудное значение  $(\Delta P)_m$  превышения давления газа над равновесным  $P_0$  при распространении звуковой волны  $\xi(x, t) = a \cdot \cos(\omega t - kx)$  в газе. Построить графики  $\xi(x)$  и  $\Delta p(x)$  в момент времени  $t = 0$ . (Постоянная  $\gamma$  газа известна).

*Ответ:*  $(\Delta P)_m = \gamma P_0 a k$

**11.8.** По цилиндрической трубке диаметром  $d = 20$  см и длиной  $L = 5$  м, заполненной сухим воздухом, распространяется звуковая волна средней за период интенсивностью  $I = 50$  мВт/м<sup>2</sup>. Найти энергию  $W$  звукового поля, заключенного в трубке.

*Ответ:* 23,7 мкДж.

**11.9.** На пути плоской не затухающей звуковой волны, распространяющейся в воздухе с плотностью  $\rho_0$ , мысленно помещают диск радиуса  $R$ , ориентированный под углом  $\theta$  к направлению распространения волны. Какая энергия переносится волной через площадь диска за время  $\tau$ , большое по сравнению с периодом колебаний? Амплитуда давления  $(\Delta P)_m$  в волне и ее скорость  $v$  известны.

*Ответ:*  $\Delta W = \frac{(\Delta P)_m^2 \pi R^2 \tau \cos \theta}{2\rho_0 v}$ , где  $v$  - скорость звука.

**11.10.** Амплитуда колебаний давления звуковой волны  $\Delta P = 100$  дин/см<sup>2</sup> (громкий звук). Найти поток энергии  $J$ , попадающий за 1 с в ухо человека. Считать площадь  $S$  уха равной  $4$  см<sup>2</sup> и ухо перпендикулярным к направлению распространения волны. Плотность воздуха  $\rho = 1,3 \cdot 10^{-3}$  г/см<sup>3</sup>, скорость звука  $334$  м/с.

*Ответ:*  $J = \frac{\Delta P^2 S}{2\rho v} \approx 460$  эрг/с =  $4,6 \cdot 10^{-5}$  Вт.

**11.11.** В точке  $O$  однородной среды находится точечный изотропный источник звука мощностью  $P = 1,7$  Вт. Найти среднюю (по времени) энергию упругих волн в области, ограниченной сферой радиуса  $R = 5,0$  м с центром

в точке  $O$ , если скорость волн  $v = 340$  м/с и их затухание пренебрежимо мало.

*Ответ:*  $W = 25$  мДж.

**11.12.** Точечный изотропный источник звука находится на перпендикуляре к плоскости кольца, проходящем через его центр  $O$ . Расстояние между точкой  $O$  и источником  $l = 100$  см, радиус кольца  $R = 50$  см. Найти средний поток энергии сквозь кольцо, если в точке  $O$  интенсивность звука  $I_0 = 30$  мкВт/м<sup>2</sup>. Затухания волн нет.

*Ответ:*  $\langle \Phi \rangle = 20$  мкВт.

**11.13.** Изотропный точечный источник, звуковая мощность которого  $P = 0,10$  Вт, находится в центре круглого полого цилиндра радиуса  $R = 1,0$  м и высоты  $h = 2,0$  м. Полагая, что стенки цилиндра полностью поглощают звук, найти средний поток энергии, падающий на боковую поверхность цилиндра. Затухания волн нет.

*Ответ:*  $\langle \Phi \rangle = 0,07$  Вт.

**11.14.** Найти звуковую мощность точечного изотропного источника, если на расстоянии  $r = 7,5$  м от него среднее значение плотности потока энергии  $\langle j \rangle = 6,3$  мВт/м<sup>2</sup> и коэффициент затухания волны  $\gamma = 0,10$  м<sup>-1</sup>.

*Ответ:*  $P = 20$  Вт.

**11.15.** На расстоянии  $r = 10$  м от точечного изотропного источника звука среднее значение плотности потока энергии  $\langle j \rangle = 5,0$  мВт/м<sup>2</sup>. Коэффициент затухания волны  $\gamma = 0,015$  м<sup>-1</sup>. Какая энергия поглощается за  $t = 5,0$  с в области, ограниченной сферой радиуса  $r$ , в центре которой находится источник?

*Ответ:*  $W = 11$  Дж.

**11.16.** Два точечных синфазных источника звука  $A$  и  $B$  имеют одинаковую мощность и находятся на расстоянии  $2l$  друг от друга. Нас интересует средняя (по времени) объемная плотность  $\langle w \rangle$  звуковой энергии в плоскости, перпендикулярной отрезку  $AB$  и проходящей через его середину  $O$ . На каком расстоянии от точки  $O$  величина  $\langle w \rangle$  максимальна? Поглощение пренебрежимо мало.

*Ответ:*  $x_m = l$ .

**11.17.** Вывести зависимость между интенсивностью звука, распространяющегося со скоростью  $v$  в среде плотностью  $\rho$ , и амплитудой звукового давления  $\Delta p$ ?

*Ответ:*  $I = (\Delta p)^2 / (2\rho v)$ .

**11.18.** Звуковые колебания в воздухе распространяются с амплитудой давления  $10$  дин/см<sup>2</sup>. Найти интенсивность этих волн при нормальных условиях.

*Ответ:*  $1,18 \cdot 10^{-3}$  Дж/м<sup>2</sup>.

**11.19.** Источник звука, дающий колебания с частотой 2 кГц, помещен под воду. Найти поток энергии от такого источника, если амплитуда смещения молекул воды равна  $2,5 \cdot 10^{-5}$  м. Плотность воды  $1000 \text{ кг/м}^3$ , скорость звука в воде 1450 м/с. Найти максимальную скорость колебания молекул воды.

*Ответ:*  $7,1 \cdot 10^4 \text{ Вт/м}^2$ ; 0,314 м/с.

**11.20.** Поток энергии, приходящий в 1 с к микрофону, имеющему площадь приемника  $2 \text{ см}^2$ , равен  $4 \cdot 10^{-5}$  Дж/с. Определить амплитуду звуковой волны, если плотность среды (воздуха) равна  $1,3 \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^3$ , скорость звука 340 м/с.

*Ответ:*  $13,3 \text{ Н/м}^2$ .

**11.21.** Во сколько раз время реверберации (время, в течение которого энергия звука уменьшится в  $10^6$  раз) в помещении с кирпичными стенами (коэффициент поглощения 0,025) больше времени реверберации в том же помещении, но со стенами, покрытыми коврами (коэффициент поглощения 0,20)?

*Ответ:* В восемь раз.

### **Уравнение электромагнитной волны. Энергия электромагнитной волны. Эффект Доплера**

**12.1.** Для демонстрации преломления электромагнитных волн Герц применял призму, изготовленную из парафина. Определите показатель преломления парафина, если его диэлектрическая проницаемость  $\epsilon=2$  и магнитная проницаемость  $\mu=1$ .

*Ответ:*  $n=1,41$ .

**12.2.** После того как между внутренним и внешним проводниками кабеля поместили диэлектрик, скорость распространения электромагнитных волн в кабеле уменьшилась на 63%. Определите диэлектрическую восприимчивость вещества прослойки.

*Ответ:*  $\chi=6,3$ .

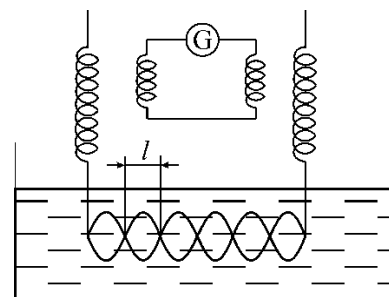
**12.3.** Колебательный контур содержит конденсатор емкостью  $C=0,5$  нФ и катушку индуктивностью  $L=0,4$  мГн. Определите длину волны излучения, генерируемого контуром.

*Ответ:*  $\lambda=843 \text{ м}$ .

**12.4.** Длина  $\lambda$  электромагнитной волны в вакууме, на которую настроен колебательный контур, равна 12 м. Пренебрегая активным сопротивлением контура, определите максимальный заряд  $Q_m$  на обкладках конденсатора, если максимальная сила тока в контуре  $I_m=1 \text{ А}$ .

*Ответ:*  $Q_m=6,37 \text{ нКл}$ .

**12.5.** Два тонких изолированных стержня погружены в трансформаторное масло и индуктивно соединены с генератором электромагнитных колебаний. При частоте колебаний 505 МГц в системе возникают стоячие волны, расстояние между соседними пучностями которых равно 20 см.



Принимая магнитную проницаемость масла равной единице, определите его диэлектрическую проницаемость.

*Ответ:*  $\epsilon = 2,2$ .

**12.6.** Покажите, что плоская монохромная волна

$E_y = E_0 \cos(\omega t - kx + \varphi)$  удовлетворяет уравнению  $\frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 E_y}{\partial t^2}$ , где

$v$  – фазовая скорость электромагнитных волн.

**12.7.** В вакууме вдоль оси  $x$  распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности электрического поля волны равна 10 В/м. Определите амплитуду напряженности магнитного поля волны.

*Ответ:*  $H_0 = 26,5$  мА/м.

**12.8.** В вакууме вдоль оси  $x$  распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности магнитного поля волны равна 1 мА/м. Определите амплитуду напряженности электрического поля волны.

*Ответ:*  $E_m = 0,377$  В/м.

**12.9.** В вакууме вдоль оси  $x$  распространяется плоская монохроматическая электромагнитная волна, описываемая уравнениями  $\vec{E} = \vec{E}_0 \cos(\omega t - kx)$  и  $\vec{H} = \vec{H}_0 \cos(\omega t - kx)$ . Эта волна отражается от плоскости, перпендикулярной оси  $x$ . Запишите уравнения, описывающие отраженную волну, а также объясните их физический смысл.

**12.10.** Рассмотрите суперпозицию двух плоских монохроматических электромагнитных волн с одинаковыми амплитудами  $\vec{E}_0$  и  $\vec{H}_0$ , распространяющихся вдоль оси  $x$  в противоположных направлениях. Начальную фазу прямой и обратной волны примете равной нулю. Определите координаты пучностей и узлов для: 1) электрического вектора  $\vec{E}$ ; 2) магнитного вектора  $\vec{H}$  стоячей волны.

**12.11.** В вакууме вдоль оси  $x$  распространяется плоская электромагнитная волна и падает по нормали на поверхность тела, полностью ее поглощающего. Амплитуда напряженности электрического поля волны равна 2 В/м. Определите давление, оказываемое волной на тело.

*Ответ:*  $p = 17,7 \cdot 10^{-12}$  Па.

**12.12.** Плоская монохроматическая электромагнитная волна распространяется вдоль оси  $x$ . Амплитуда напряженности электромагнитного поля волн  $E_0=5$  мВ/м, амплитуда напряженности магнитного поля волны  $H_0=1$  мА/м. Определите энергию, перенесенную волной за время  $t=10$  мин через площадку, расположенную перпендикулярно оси  $x$ , площадью поверхности  $S=15$  см<sup>2</sup>. Период волны  $T \ll t$ .

*Ответ:*  $W=2,25$  мкДж.

**12.13.** В вакууме вдоль оси  $x$  распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности электрического поля волны составляет 50 мВ/м. Определите интенсивность волны  $I$ , т.е. среднюю энергию, проходящую через единицу поверхности в единицу времени.

*Ответ:*  $I=3,32$  мкВт/м<sup>2</sup>.

**12.14.** В вакууме вдоль оси  $x$  распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности магнитного поля волны составляет 5 мА/м. Определите интенсивность волны  $I$ .

*Ответ:*  $I=4,71$  мВт/м<sup>2</sup>.

**12.15.** С какой скоростью удаляется от нас некоторая туманность, если линия водорода  $\lambda_0=434$  нм (для неподвижного источника) в ее спектре смещена в длинноволновую сторону на 130 нм?

*Ответ:*  $v=0,77 \cdot 10^8$  м/с.

**12.16.** С какой скоростью должна была бы двигаться автомашина, чтобы красный свет светофора ( $\lambda \approx 0,7$  мкм) превратился в зеленый ( $\lambda' \approx 0,55$  мкм)?

*Ответ:*  $v=7 \cdot 10^4$  км/с.

**12.17.** По некоторой прямой движутся в одном направлении наблюдатель со скоростью  $v_1=0,50$  с и впереди него источник света со скоростью  $v_2=0,75$  с. Собственная частота света равна  $\omega_0$ . Найти частоту света, которую зафиксирует наблюдатель.

*Ответ:*  $\omega = \omega_0 \sqrt{3/7}$ .

**12.18.** Одна из спектральных линий атомарного водорода имеет длину волны  $\lambda=656,3$  нм. Найти доплеровское смещение  $\Delta\lambda$  этой линии, если ее наблюдать под прямым углом к пучку атомов водорода с кинетической энергией  $K=1,0$  МэВ (поперечный Доплер-эффект).

*Ответ:*  $\Delta\lambda=0,7$  нм.

**12.19.** Определить коэффициент затухания электромагнитных волн в среде при полном внутреннем отражении.

*Ответ:*  $d = \frac{1}{\chi} = \alpha_2 / \omega \sqrt{\frac{\sin^2 \alpha_1}{n_{12}^2} - 1}$ .

**12.20.** Определить энергию, которую переносит за время  $t=1$  мин плоская синусоидальная электромагнитная волна, распространяющаяся в

вакууме, через площадку  $S = 10 \text{ см}^2$ , расположенную перпендикулярно направлению распространения волны. Амплитуда напряженности электрического поля волны  $E_0 = 1 \text{ мВ/м}$ . Период волны  $T \ll t$ .

Ответ:  $W = 8 \cdot 10^{-11} \text{ Дж}$ .

**12.21.** Выразить модуль напряженности электрического поля  $E$  плоской волны через модуль вектора Пойтинга и диэлектрическую проницаемость среды  $\epsilon$ . (Положить  $\mu = 1$ ).

Ответ:  $E = \sqrt{\frac{S}{c\epsilon_0 \sqrt{\epsilon}}}$ .

### Контрольная работа

Контрольная работа для оценки уровня сформированности компетенции **ОПК-1** на этапе «Владения»

#### Контрольная работа №1

##### Вариант 1

1. Точка одновременно участвует в двух гармонических колебаниях, выражаемых уравнениями  $x = A \cos \omega t$  и  $y = A \sin 2\omega t$ . Найти уравнение траектории точки, построить ее с соблюдением масштаба и указать направление движения. Принять:  $A = 2 \text{ см}$ .

2. Маятник состоит из невесомого стержня, на котором закреплены два одинаковых груза – один на расстоянии  $30 \text{ см}$  от оси, другой на расстоянии  $15 \text{ см}$  от оси. Каков период колебаний такого маятника?

3. На какую часть нужно уменьшить длину математического маятника, чтобы периоды его колебаний на высоте  $H$  и на поверхности Земли были равны?

4. Логарифмический декремент колебаний маятника равен  $0,003$ . Определить число  $N$  полных колебаний, которые должен сделать маятник, чтобы амплитуда уменьшилась в два раза.

5. При неизменной амплитуде вынуждающей силы амплитуда вынужденных колебаний при частотах  $\omega_1 = 100 \text{ с}^{-1}$  и  $\omega_2 = 300 \text{ с}^{-1}$  оказывается одинаковой. Найти резонансную частоту.

##### Вариант 2

1. Точка одновременно участвует в двух гармонических колебаниях, выражаемых уравнениями  $x = A_1 \cos 2\omega t$  и  $y = A_2 \cos \omega t$ . Найти уравнение траектории точки, построить ее с соблюдением масштаба и указать направление движения. Принять:  $A_1 = 2 \text{ см}$ ,  $A_2 = 3 \text{ см}$ .

2. На невесомом стержне длиной  $l$  укреплены два одинаковых грузика – один в середине стержня, другой на одном из его концов. Стержень с грузиками колеблется относительно горизонтальной оси, проходящей через другой конец стержня. Определить приведенную длину и период колебаний физического маятника.

3. Как изменится период колебаний математического маятника при переносе его на Луну?

4. Каков логарифмический коэффициент затухания маятника длиной  $0,8 \text{ м}$ , если его начальная амплитуда  $5^\circ$ , а через  $5 \text{ мин}$  амплитуда равна  $0,5^\circ$ ?

5. При неизменной амплитуде вынуждающей силы амплитуда скорости при частотах  $\omega_1 = 100 \text{ с}^{-1}$  и  $\omega_2 = 300 \text{ с}^{-1}$  оказывается одинаковой. Найти частоту при которой амплитуда скорости максимальна.

### Вариант 3

1. Точка одновременно участвует в двух гармонических колебаниях, выражаемых уравнениями  $x = A_1 \sin \omega t$  и  $y = A_2 \cos \omega t$ . Найти уравнение траектории точки, построить ее с соблюдением масштаба и указать направление движения. Принять:  $A_1 = 2 \text{ см}$ ,  $A_2 = 3 \text{ см}$ .

2. На стержне массой  $m_1$  и длиной  $l$ , подвешенном за один из его концов закреплен, грузик массой  $m_2$  на расстоянии  $s$  от точки подвеса. Определить период колебаний такого маятника.

3. Медный шарик, подвешенный к пружине, совершает вертикальные колебания. Как изменится период колебаний если шарик заменить на алюминиевый таких же линейных размеров.

4. За  $10$  секунд амплитуда колебаний уменьшается в  $10$  раз. За какое время амплитуда уменьшится в  $100$  раз?

5. Определить на сколько резонансная частота отличается от частоты  $1000 \text{ Гц}$  собственных колебаний системы, характеризуемой коэффициентом затухания  $\delta = 400 \text{ с}^{-1}$ .

### Контрольная работа №2

Перечень заданий для оценки уровня сформированности компетенции **ПК-1** на этапе «Умения»

### I вариант

1. Точка совершает гармонические колебания с периодом  $T = 6 \text{ с}$  и начальной фазой, равной нулю. Определить, за какое время, считая от начала движения, точка сместится от положения равновесия на половину амплитуды. Ответ:  $1 \text{ с}$ .

2. Тело массой  $m = 10 \text{ г}$  совершает гармонические колебания по закону  $x = 0,1 \cos(4\pi t + \pi/4) \text{ м}$ . Определить максимальные значения: 1) возвращающей силы; 2) кинетической энергии. Ответ: 1)  $0,158 \text{ Н}$ ; 2)  $7,89 \text{ мДж}$ .

3. Груз, подвешенный к спиральной пружине, колеблется по вертикали с амплитудой  $A = 8 \text{ см}$ . Определить жесткость  $k$  пружины, если известно, что максимальная кинетическая энергия  $T_{\text{max}}$  груза составляет  $0,8 \text{ Дж}$ . Ответ:  $250 \text{ Н/м}$ .



4. Тонкий обруч радиусом  $R = 50$  см подвешен на вбитый в стену гвоздь и колеблется в плоскости, параллельной стене. Определить период  $T$  колебаний обруча. Ответ: 2 с.

5. Точка участвует одновременно в двух гармонических колебаниях, происходящих во взаимно перпендикулярных направлениях и описываемых уравнениями  $x = \cos 2\pi t$  и  $y = \cos \pi t$ . Определить уравнение траектории точки и вычертить ее с нанесением масштаба. Ответ:  $2y^2 - x = 1$ .

6. Частота свободных колебаний некоторой системы  $\omega = 65$  рад/с, а ее добротность  $Q = 2$ . Определить собственную частоту  $\omega_0$  колебаний этой системы. Ответ: 67 рад/с.

## II вариант

1. Материальная точка совершает колебания согласно уравнению  $x = A \sin \omega t$ . В какой-то момент времени смещение точки  $x_1 = 15$  см. При возрастании фазы колебаний в два раза смещение  $x_2$  оказалось равным 24 см. Определить амплитуду  $A$  колебаний. Ответ: 25 см.

2. Полная энергия  $E$  гармонически колеблющейся точки равна 10 мкДж, а максимальная сила  $F_{\max}$ , действующая на точку, равна -0,5 мН. Написать уравнение движения этой точки, если период  $T$  колебаний равен 4 с, а начальная фаза  $\varphi = \pi/6$ . Ответ:  $x = 0,04 \cos(\frac{\pi}{2}t + \frac{\pi}{6})$ , м.

3. Спиральная пружина обладает жесткостью  $k = 25$  Н/м. Определить, тело какой массой  $m$  должно быть подвешено к пружине, чтобы за  $t = 1$  мин совершалось 25 колебаний. Ответ: 3,65 кг.

4. Математический маятник, состоящий из нити длиной  $l = 1$  м и свинцового шарика радиусом  $r = 2$  см, совершает гармонические колебания с амплитудой  $A = 6$  см. Определить: 1) скорость шарика при прохождении им положения равновесия; 2) максимальное значение возвращающей силы. Плотность свинца  $\rho = 11,3$  г/см<sup>3</sup>. Ответ: 1) 0,186 м/с; 2) 69,5 мН.

5. Точка участвует одновременно в двух гармонических колебаниях, происходящих во взаимно перпендикулярных направлениях и описываемых уравнениями  $x = 3 \cos \omega t$ , см и  $y = 4 \cos \omega t$ , см. Определить уравнение траектории точки и вычертить ее с нанесением масштаба. Ответ:  $y = 4x/3$ .

6. Логарифмический декремент колебаний  $\Theta$  маятника равен 0,01. Определить число  $N$  полных колебаний маятника до уменьшения его амплитуды в 3 раза. Ответ: 110.

## III вариант

1. Точка совершает гармонические колебания с амплитудой  $A = 10$  см и периодом  $T = 5$  с. Определить для точки: 1) максимальную скорость; 2) максимальное ускорение. Ответ: 1) 12,6 см/с; 2) 15,8 см/с<sup>2</sup>.

2. Материальная точка массой  $m = 20$  г совершает гармонические колебания по закону  $x = 0,1 \cos(4\pi t + \pi/4)$  м. Определить полную энергию  $E$  этой точки. Ответ: 15,8 мДж.

3. Груз, подвешенный к спиральной пружине, колеблется по вертикали с амплитудой  $A = 6$  см. Определить полную энергию  $E$  колебаний груза, если жесткость  $k$  пружины составляет 500 Н/м. Ответ: 0,9 Дж.

4. Два математических маятника, длины которых отличаются на  $\Delta l = 16$  см, совершают за одно и то же время один  $n_1 = 10$  колебаний, другой —  $n_2 = 6$  колебаний. Определить длины маятников  $l_1$  и  $l_2$ . Ответ:  $l_1 = 9$  см,  $l_2 = 25$  см.

5. Точка участвует одновременно в двух гармонических колебаниях, происходящих во взаимно перпендикулярных направлениях и описываемых уравнениями  $x = A \sin \omega t$  и  $y = A \sin 2\omega t$ . Определить уравнение траектории точки и вычертить ее с нанесением масштаба. Ответ:  $y^2 = 4x^2(1 - x^2/A^2)$ .

6. За время, в течение которого система совершает  $N = 50$  полных колебаний, амплитуда уменьшается в 2 раза. Определить добротность  $Q$  системы. Ответ: 227.

#### IV вариант

1. Материальная точка, совершающая гармонические колебания с частотой  $\nu = 1$  Гц, в момент времени  $t = 0$  проходит положение, определяемое координатой  $x_0 = 5$  см, со скоростью  $v_0 = 15$  см/с. Определить амплитуду колебаний. Ответ: 5,54 см.

2. Материальная точка массой  $m = 50$  г совершает гармонические колебания согласно уравнению  $x = 0,1 \cos \frac{3\pi}{2} t$  м. Определить: 1) возвращающую силу  $F$  для момента времени  $t = 0,5$  с; 2) полную энергию  $E$  точки. Ответ: 1) 78,5 мН; 2) 5,55 мДж.

3. Если увеличить массу груза, подвешенного к спиральной пружине, на 600 г, то период колебаний груза возрастает в 2 раза. Определить массу первоначально подвешенного груза. Ответ: 0,2 кг.

4. При подвешивании грузов массами  $m_1 = 600$  г и  $m_2 = 400$  г к свободным пружинам последние удлинились одинаково ( $l = 10$  см). Пренебрегая массой пружин, определить: 1) периоды колебаний грузов; 2) какой из грузов при одинаковых амплитудах обладает большей энергией и во сколько раз. Ответ: 1)  $T_1 = T_2 = 0,63$  с; 2) груз большей массы, в 1,5 раза.

5. Определить разность фаз двух одинаково направленных гармонических колебаний одинаковых частоты и амплитуды, если амплитуда их результирующего колебания равна амплитудам складываемых колебаний. Ответ:  $120^\circ$ .

6. Тело массой  $m = 100$  г, совершая затухающие колебания, за  $\tau = 1$  мин потеряло 40 % своей энергии. Определить коэффициент сопротивления  $r$ . Ответ:  $8,51 \cdot 10^{-4}$  кг/с.

#### Домашняя контрольная работа

Перечень вопросов для оценки уровня сформированности компетенции ОПК-1 на этапе «Владения»

#### Вариант 1

1. Точка совершает гармонические колебания с периодом  $T = 6$  с и начальной фазой, равной нулю. Определить, за какое время, считая от

начала движения, точка сместится от положения равновесия на половину амплитуды.

2. Тело массой  $m = 10$  г совершает гармонические колебания по закону  $x = 0,1 \cos(4\pi t + \pi/4)$  м. Определить максимальные значения: 1) возвращающей силы; 2) кинетической энергии.

3. Спиральная пружина обладает жесткостью  $k = 25$  Н/м. Определить, тело какой массой  $m$  должно быть подвешено к пружине, чтобы за  $t = 1$  мин совершалось 25 колебаний.

4. Тонкий обруч радиусом  $R = 50$  см подвешен на вбитый в стену гвоздь и колеблется в плоскости, параллельной стене. Определить период  $T$  колебаний обруча.

5. Амплитуда результирующего колебания, получающегося при сложении двух одинаково направленных гармонических колебаний одинаковой частоты, обладающих разностью фаз  $\varphi = 60^\circ$ , равна  $A = 6$  см. Определить амплитуду  $A_2$  второго колебания, если  $A_1 = 5$  см.

6. Начальная амплитуда затухающих колебаний маятника  $A_0 = 3$  см. По истечении  $t_1 = 10$  с  $A_1 = 1$  см. Определить, через сколько времени амплитуда колебаний станет равной  $A_2 = 0,3$  см.

7. Волна распространяется в упругой среде со скоростью  $v = 150$  м/с. Определить частоту колебаний, если минимальное расстояние  $\Delta x$  между точками среды, фазы колебаний которых противоположны, равно  $0,75$  м.

8. Частота основного тона гудка паровоза  $650$  Гц. Какова кажущаяся частота гудка для наблюдателя, к которому паровоз приближается со скоростью  $54$  км/ч? Температура воздуха  $16^\circ\text{C}$ .

9. Колебательный контур состоит из плоского конденсатора с площадью пластин  $S = 50$  см<sup>2</sup>, разделенных слюдой толщиной  $d = 0,1$  мм, и катушки с индуктивностью  $L = 10^{-3}$  Гн. Определить период колебаний в контуре.

10. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью  $L = 10$  мГн, конденсатора емкостью  $C = 0,1$  мкФ и резистора сопротивлением  $R = 20$  Ом. Определить через сколько полных колебаний амплитуда силы тока в контуре уменьшится в  $e$  раз.

## Вариант 2

1. Точка совершает гармонические колебания с амплитудой  $A = 10$  см и периодом  $T = 5$  с. Определить для точки: 1) максимальную скорость; 2) максимальное ускорение.

2. Полная энергия  $E$  гармонически колеблющейся точки равна  $10$  мкДж, а максимальная сила  $F_{\max}$ , действующая на точку, равна  $-0,5$  мН. Написать уравнение движения этой точки, если период  $T$  колебаний равен  $4$  с, а начальная фаза  $\varphi = \pi/6$ .

3. Если увеличить массу груза, подвешенного к спиральной пружине, на  $600$  г, то период колебаний груза возрастает в  $2$  раза. Определить массу первоначально подвешенного груза.

4. Тонкий однородный стержень длиной  $l = 60$  см может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси, отстоящей на расстоянии  $x = 15$  см от его середины. Определить период колебаний стержня, если он совершает малые колебания.

5. Определить разность фаз двух одинаково направленных гармонических колебаний одинаковых частоты и амплитуды, если амплитуда их результирующего колебания равна амплитудам складываемых колебаний.

6. Частота свободных колебаний некоторой системы  $\omega = 65$  рад/с, а ее добротность  $Q = 2$ . Определить собственную частоту  $\omega_0$  колебаний этой системы.

7. Звуковые колебания с частотой  $\nu = 450$  Гц и амплитудой  $A = 0,3$  мм распространяются в упругой среде. Длина волны  $\lambda = 80$  см. Определить: 1) скорость распространения волн; 2) максимальную скорость частиц среды.

8. Паровоз, движущийся со скоростью  $72$  км/ч, дает свисток в течение  $2$  с. Какова продолжительность звука, воспринятого неподвижным наблюдателем: а) если паровоз приближается к нему? б) если паровоз удаляется от него? Температура воздуха  $-17^\circ\text{C}$ .

9. Колебательный контур, состоящий из воздушного конденсатора с площадью пластин  $S=50$  см<sup>2</sup> каждая и катушки с индуктивностью  $L=1$  мкГн, резонирует на длину волны  $\lambda=20$  м. Определить расстояние между пластинами конденсатора. ( $0,39$  мм)

10. Резонанс в колебательном контуре, содержащем конденсатор емкостью  $C_1=1$  мкФ, наступает при частоте  $\nu_1=400$  Гц. Когда же параллельно конденсатору  $C_1$  подключают еще один емкостью  $C_2$ , резонансная частота становится  $\nu_2=100$  Гц. Найти емкость конденсатора  $C_2$ .

### Перечень вопросов к экзамену

#### ГАРМОНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

1. Пружинный маятник
2. Математический маятник
3. Физический маятник
4. Гармонический осциллятор

#### МАЯТНИКИ В ПОСТОЯННЫХ СИЛОВЫХ ПОЛЯХ

5. Пружинный маятник в постоянном силовом поле
6. Математический маятник в постоянном силовом поле

#### СЛОЖЕНИЕ КОЛЕБАНИЙ

7. Метод векторных диаграмм
8. Сложение взаимно перпендикулярных колебаний
9. Сложение колебаний с близкими частотами, проходящими вдоль одной прямой

#### СВОБОДНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

10. Уравнение колебаний в контуре
11. Процессы, происходящие в колебательном контуре
12. Аналогия между электрическими

13. Колебательный контур с источником постоянного тока

#### ЗАТУХАЮЩИЕ КОЛЕБАНИЯ

14. Затухание колебаний в системах с вязким трением
15. Как быстро затухают колебания в системах с вязким трением?
16. Затухание колебаний в системах с сухим трением
17. Вынужденные механические колебания
18. Вынужденная сила изменяется по гармоническому закону
19. Энергетические превращения
20. Несинусоидальное периодическое воздействие
21. Параметрический резонанс
22. Значение резонанса

#### ВЫНУЖДЕННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

23. Переменный ток
24. Последовательное соединение  $R, L, C$
25. Резонанс токов
26. Опять о мощности в цепи переменного тока
27. Принцип действия трансформатора. Передача энергии на расстояние

#### УПРУГИЕ ВОЛНЫ

28. Механические волны
29. Звук
30. Интерференция волн

#### ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

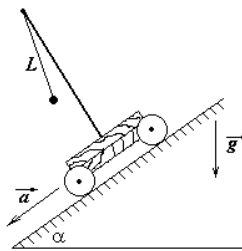
31. Уравнения Максвелла и волновое уравнение
32. Излучение электромагнитной волны
33. Энергия электромагнитной волны
34. Импульс электромагнитной волны
35. Опыты Герца

#### ЗАДАЧИ

1. Через сколько секунд от начала движения точка, совершающая колебания по закону  $x = A \sin(\omega t)$ , сместится от положения равновесия на половину амплитуды? Период колебаний равен 36 с.
2. Груза, подвешенного на пружине, в зависимости от времени задается законом  $x = 8 \cos(10t + \pi/4)$ . При этом максимальная кинетическая энергия груза равна 0,8 Дж. Найдите жесткость пружины.
3. Грузик массой  $m = 200$  г, прикрепленный к горизонтальной пружине жесткостью  $k = 20$  Н/м, покоится на гладкой горизонтальной плоскости. Вторым концом пружины закреплен. Грузику толчком сообщили горизонтальную скорость  $v_0 = 0,98$  м/с, направленную вдоль оси пружины. Определите закон движения грузика  $x(t)$ , считая, что направление начальной скорости совпадает с положительным направлением оси  $Ox$ .
4. Небольшое тело совершает гармонические колебания. Зная, что его максимальная скорость  $v_{\max} = 9,42$  м/с, найдите величину средней

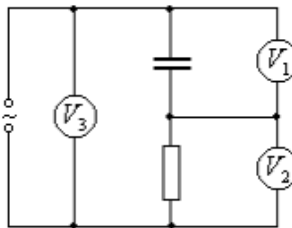
скорости тела за время, в течение которого оно перемещается из одного крайнего положения в другое.

5. Шарик массой 50 г, подвешенный на пружине, совершает гармонические колебания с амплитудой 10 см. Чему равна максимальная величина возвращающей силы (в мН), действующей на шарик, если циклическая частота колебаний  $4 \text{ с}^{-1}$ .
6. Определите период малых колебаний математического маятника длины  $L = 20 \text{ см}$ , если он находится в жидкости с плотностью в  $n = 3$  раза меньшей плотности материала шарика. Сопротивление жидкости пренебрежимо мало.
7. Тяжелая тележка скатывается с ускорением  $a$  с наклонной плоскости, составляющей угол  $\alpha$  с горизонтом. Найдите период колебаний маятника длины  $L$ , установленного на тележке.

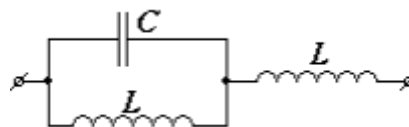


8. Колебательный контур с конденсатором емкостью 1 мкФ настроен на частоту 400 Гц. Если подключить к нему параллельно второй конденсатор, то частота колебаний в контуре становится равной 200 Гц. Определите емкость второго конденсатора.
9. Контур настроен на частоту 400 Гц. Какой будет собственная частота колебательного контура, если параллельно контурной катушке включить еще одну, с индуктивностью в 3 раза меньшей?
10. В колебательном контуре индуктивность катушки  $L = 2,5 \text{ мГн}$ , а емкость конденсатора 1 мкФ. Конденсатор зарядили до напряжения 20 В и замкнули на катушку. Определите период и частоту возникших в контуре колебаний. Запишите закон, по которому изменяются напряжение и заряд на конденсаторе, сила тока в контуре.
11. Колебательный контур состоит из дросселя индуктивности  $L = 0,2 \text{ Гн}$  и конденсатора емкости  $C = 10 \text{ мкФ}$ . В тот момент, когда напряжение на конденсаторе  $U = 1 \text{ В}$ , ток в катушке равен  $I = 10 \text{ мА}$ . Определите максимальное значение силы тока в катушке, максимальные заряд и напряжение на конденсаторе.
12. В колебательном контуре индуктивность катушки  $L = 2,5 \text{ мГн}$ , а емкости конденсаторов  $C_1 = 2 \text{ мкФ}$  и  $C_2 = 3 \text{ мкФ}$ . Конденсаторы зарядили до напряжения  $U_0 = 180 \text{ В}$  и замкнули ключ К. Определите период возникших в контуре колебаний и амплитудное значение силы тока. Активное сопротивление контура пренебрежимо мало.
13. Логарифмический декремент затухания маятника равен  $\theta = 3 \cdot 10^{-3}$ . Определите число полных колебаний, которое должен совершить маятник, чтобы амплитуда его колебаний уменьшилась в 2 раза.

14. Энергия затухающих колебаний маятника за время  $t = 100$  с уменьшилась в 100 раз. Определите коэффициент сопротивления среды  $r$ , если масса маятника 100 г.
15. Груз массы 100 г, подвешенный на пружине жесткости 10 Н/м, совершает вынужденные колебания в вязкой среде с коэффициентом сопротивления  $r = 0,02$  кг/с. Определите коэффициент затухания, резонансную частоту и амплитуду. Амплитудное значение вынуждающей силы 10 мН.
16. В цепи переменного тока показания вольтметров  $V_1$  и  $V_2$  составляют  $U_1 = 12$  В и  $U_2 = 9$  В соответственно. Определите показания вольтметра  $V_3$ . Вольтметры считайте идеальными.



17. Определите силу тока в цепи, изображенной на рисунке, считая известными  $C$  и  $L$ . Напряжение на клеммах источника меняется по закону:  $U(t) = U_{\max} \sin(\omega t)$



18. Летучая мышь летит перпендикулярно к стене со скоростью  $v = 10$  м/с, издавая ультразвук частотой  $f_0 = 5 \cdot 10^4$  Гц. Какую частоту  $f$  звуковой волны, отраженной от стенки, воспринимает мышь? Скорость звука примите равной  $c = 340$  м/с.
19. Самолет летит горизонтально со скоростью  $v = 470$  м/с. Человек услышал звук самолета через  $\tau = 10$  с после того, как самолет пролетел над ним. Определите, на какой высоте летит самолет. Скорость звука  $c = 330$  м/с.
20. Гитарная струна имеет длину 90 см и массу 3,6 г. Расстояние между верхним и нижним порожками  $L = 60$  см, струна натянута с силой 520 Н. Чему равны частоты основного тона и первых двух обертонов струны?

### 3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), описание шкал оценивания

Виды учебной деятельности студентов	Балл за конкретное задание	Число заданий за семестр	Баллы	
			Минимальный	Максимальный
<b>Модуль 1</b>			<b>0</b>	<b>35</b>
<b>Текущий контроль</b>			<b>0</b>	<b>20</b>
1. Решение задач у доски	2	5	0	10

2. Домашняя контрольная работа	5	1	0	5
3. Тест	5	1		5
<b>Рубежный контроль</b>			<b>0</b>	<b>15</b>
1. Коллоквиум	7	1	0	7
2. Контрольная работа	8	1	0	8
<b>Модуль 2</b>			<b>0</b>	<b>35</b>
<b>Текущий контроль</b>			<b>0</b>	<b>20</b>
1. Решение задач у доски	5	3	0	15
2. Тест	5	1	0	5
<b>Рубежный контроль</b>			<b>0</b>	<b>15</b>
1. Коллоквиум	7	1	0	7
2. Домашняя контрольная работа	8	1	0	8
<b>Поощрительные баллы</b>			<b>0</b>	<b>10</b>
1. Студенческая олимпиада	5	1	0	5
2. Реферат	5	1	0	5
<b>Посещаемость (баллы вычитаются из общей суммы набранных баллов)</b>				
1. Посещение лекционных занятий			<b>0</b>	<b>-6</b>
2. Посещение практических (семинарских, лабораторных занятий)			<b>0</b>	<b>-10</b>
<b>Итоговый контроль</b>				
1. Экзамен			<b>0</b>	<b>30</b>
<b>ИТОГО</b>			<b>0</b>	<b>110</b>

Результаты обучения по дисциплине (модулю) у обучающихся оцениваются по итогам текущего контроля количественной оценкой, выраженной в рейтинговых баллах. Оценке подлежит каждое контрольное мероприятие.

При оценивании сформированности компетенций применяется четырехуровневая шкала «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично».

Максимальный балл по каждому виду оценочного средства определяется в рейтинг-плане и выражает полное (100%) освоение компетенции.

Уровень сформированности компетенции «хорошо» устанавливается в случае, когда объем выполненных заданий соответствующего оценочного средства составляет 80-100%; «удовлетворительно» – выполнено 40-80%; «неудовлетворительно» – выполнено 0-40%

Рейтинговый балл за выполнение части или полного объема заданий соответствующего оценочного средства выставляется по формуле:

Рейтинговый балл =  $k \times$  Максимальный балл,

где  $k = 0,2$  при уровне освоения «неудовлетворительно»,  $k = 0,4$  при уровне освоения «удовлетворительно»,  $k = 0,8$  при уровне освоения «хорошо» и  $k = 1$  при уровне освоения «отлично».

Оценка на этапе промежуточной аттестации выставляется согласно Положению о модульно-рейтинговой системе обучения и оценки успеваемости студентов БашГУ:

На экзамене выставляется оценка:

- отлично - при накоплении от 80 до 110 рейтинговых баллов (включая 10 поощрительных баллов),
- хорошо - при накоплении от 60 до 79 рейтинговых баллов,
- удовлетворительно - при накоплении от 45 до 59 рейтинговых баллов,
- неудовлетворительно - при накоплении менее 45 рейтинговых баллов.

При получении на экзамене оценок «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», на зачёте оценки «зачтено» считается, что результаты обучения по дисциплине (модулю) достигнуты и компетенции на этапе изучения дисциплины (модуля) сформированы.