

5. КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

5.1. Основные понятия

5.1.1. **Колебания** – это повторяющиеся изменения в системе.

5.1.2. **Период колебаний** – это минимальное время повторения для любого из состояний системы.

5.1.3. **Частота колебаний** ν – это величина, обратная периоду колебаний T :

$$\nu = 1/T.$$

5.1.4. **Гармоническими** называются колебания, которые описываются гармонической функцией:

$$x = X \cos(\omega t + \varphi),$$

где x – отклонение системы от положения равновесия в момент времени t , X – амплитуда колебаний, $\omega = 2\pi/T$ – циклическая (угловая, круговая) частота колебаний, $(\omega t + \varphi)$ – фаза колебаний, φ – начальная фаза.

5.1.5. **Колебательный контур** – это замкнутая цепь, состоящая из последовательно соединенных катушки индуктивности с коэффициентом самоиндукции L , конденсатора емкости C и резистора с активным сопротивлением R .

5.1.6. **Период собственных колебаний контура** – это наименьший промежуток времени T , через который все основные величины, характеризующие колебательный процесс в контуре, не имеющем активного сопротивления, повторяются.

5.1.7. **Резонанс** – это резкое возрастание амплитуды вынужденных колебаний системы при приближении частоты внешнего воздействия к частоте собственных колебаний.

5.1.8. **Переменный ток** – это ток, сила которого изменяется с течением времени по гармоническому закону:

$$i = I \cos(\omega t + \varphi),$$

где i – сила тока в цепи в момент времени t , I – амплитуда силы тока, ω – циклическая (угловая, круговая) частота, $(\omega t + \varphi)$ – фаза колебаний тока, φ – начальная фаза.

5.1.9. **Действующее значение силы переменного синусоидального тока** на данном участке цепи – это сила постоянного тока, при которой за период выделяется на участке такое же количество тепла, что и при переменном токе.

5.1.10. **Действующее значение напряжения переменного синусоидального тока** на данном участке цепи – это постоянное напряжение, при котором за период выделяется на участке такое же количество тепла, что и при переменном токе.

5.1.11. **КПД трансформатора** – это величина, равная отношению мощности переменного тока во вторичной обмотке к его мощности в первичной:

$$\eta = U_2 I_2 / (U_1 I_1),$$

где U_1 и U_2 – действующие значения напряжения переменного тока в первичной и вторичной обмотках, I_1 и I_2 – соответствующие значения силы тока в этих обмотках.

5.1.12. **Волна** – это процесс распространения изменений состояния системы.

5.1.13. **Длина волны** – это минимальное расстояние между точками, которые имеют одинаковую фазу колебаний в ходе распространения волны.

5.1.14. **Поперечность электромагнитных волн:**

в электромагнитной волне векторы напряженности электрического поля \vec{E} , магнитной индукции \vec{B} и скорости распространения волны \vec{v} образуют правовинтовую тройку: если вектор \vec{E} рассматривать как рукоятку буравчика и поворачивать этот вектор по кратчайшему расстоянию к вектору \vec{B} , то направление движения буравчика укажет направление вектора \vec{v} .

5.2. Формулировки законов и формулы

5.2.1. **Формула для периода колебаний математического маятника:**

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}},$$

где l – длина маятника, g – ускорение свободного падения.

5.2.2. **Формула для периода колебаний пружинного маятника:**

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}},$$

где m – масса груза, k – жесткость пружины.

5.2.3. **Формула для периода собственных электромагнитных колебаний в контуре (формула Томсона):**

$$T = 2\pi\sqrt{LC},$$

где L – коэффициент самоиндукции катушки, C – емкость конденсатора.

5.3. Примеры и пояснения к решениям

5.3.1(А). Тело, подвешенное на пружине, совершает гармонические колебания с частотой ν . С какой частотой происходит изменение кинетической энергии тела?

1**2****3****4**

- 1) $\frac{\nu}{2}$
- 2) 2ν
- 3) ν
- 4) ν^2

Пояснение. Изучая колебания пружинного маятника, учащиеся нередко упускают из виду, что кинетическая энергия маятника зависит от квадрата скорости груза, а значит, не зависит от направления движения. С этим упущением связан неправильный ответ на поставленный вопрос: считают, будто бы частота колебаний кинетической энергии такова же, как и для скорости маятника (тогда как она вдвое больше).

5.3.10(А). Выберите среди приведенных примеров электромагнитные волны с наименьшей частотой.

1 **2** **3** **4**

- 1) Инфракрасное излучение Солнца
- 2) Ультрафиолетовое излучение Солнца
- 3) γ -излучение радиоактивного препарата
- 4) Излучение антенны радиопередатчика

Пояснение. Снова встретилось качественное задание: в нем проверяют ваши знания по теме «Электромагнитные волны». Указанные разновидности электромагнитных волн располагаются на шкале частот следующим образом (в порядке возрастания частоты): излучение антенны радиопередатчика, инфракрасное излучение Солнца, ультрафиолетовое излучение Солнца, γ -излучение радиоактивного препарата.

5.3.11(Ап). В таблице показано, как изменялся заряд конденсатора в колебательном контуре с течением времени. Какова емкость конденсатора, если индуктивность катушки контура 32 мГн?

1 **2** **3** **4**

- 1) 47 пФ
- 2) 51 пФ
- 3) 57 пФ
- 4) 63 пФ

$t, 10^{-6} \text{ с}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$q, 10^{-6} \text{ Кл}$	2	1,42	0	-1,42	-2	-1,42	0	1,42	2	1,42

Пояснение. Табличная форма представления информации очень часто используется в физике. Учащиеся должны получить навыки пользования таблицами еще в школе. В задании представлен один из «сюжетов» на эту тему. В данном случае можно поступить следующим образом: сначала определить период колебаний (по данным таблицы), а затем воспользоваться формулой Томсона (5.2.3), в которую входит искомая емкость. Заметим попутно, что для определения периода колебаний полезно построить по табличным данным график зависимости $q(t)$.

<i>Дано:</i>	<i>Решение:</i>
<i>Найти:</i>	<i>Ответ:</i>

5.3.12(Ап). Период колебаний электромагнитной волны $4,89 \cdot 10^{-11}$ с. Какова длина λ для этой волны в сероуглероде? (Показатель преломления сероуглерода 1,63.)

1 **2** **3** **4**

- 1) 3 мм
- 2) 5 мм
- 3) 9 мм
- 4) 11 мм

Пояснение. Здесь надо воспользоваться формулой, связывающей длину волны λ_0 в вакууме с ее периодом T и определением абсолютного показателя преломления.

<i>Дано:</i>		<i>Решение:</i>	
<i>Найти:</i>		<i>Ответ:</i>	

5.3.13(В). Колебательный контур радиоприемника настроен на некоторую длину волны λ . Как изменятся период колебаний в контуре, их частота и соответствующая им длина волны, если площадь пластин конденсатора уменьшить?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) не изменится
- 2) уменьшится
- 3) увеличится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Период колебаний	Частота	Длина волны

Пояснение. Это – еще одно качественное задание. В основе его решения – формула Томсона для периода колебаний T контура. С помощью этой формулы надо выразить частоту ν колебаний через емкость C конденсатора, а затем – емкость C через площадь S обкладок конденсатора. Что касается длины волны λ , ее надо выразить через скорость c электромагнитных волн и их частоту ν .

5.3.14(В). Установите соответствие между физическими явлениями и их природой.

К каждой позиции первого столбца подберите нужную позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

- А) звук
- Б) свет

ИХ ПРИРОДА

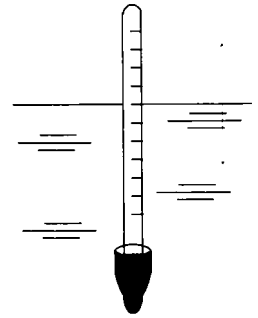
- 1) электрические колебания
- 2) электромагнитные колебания
- 3) механические колебания
- 4) электромеханические колебания

А	Б

Пояснение. Звук и свет – эти два явления знакомы нам с глубокого детства. Они так часто встречаются нам в жизни, что мы не задумываемся об их природе. Тем не менее, школа, с ее курсом физики, должна расставить все по местам. Сведения о природе звуковых и световых волн должны попасть в так называемые остаточные знания – те, которые остаются всегда при нас, когда многое уже забыто.

5.3.15(С). Ареометр, погруженный в жидкость, совершает вертикальные гармонические колебания с малой амплитудой (см. рисунок). Масса ареометра 40 г, радиус его трубки 2 мм, плотность жидкости $0,8 \text{ г/см}^3$. Каков период этих колебаний? (Сопротивлением жидкости пренебречь.)

Пояснение. Колебания ареометра аналогичны колебаниям пружинного маятника. Значит, в качестве исходной можно взять систему из двух уравнений: первое – формула для периода колебаний пружинного маятника, второе – формула для возвращающей силы. В случае колебаний ареометра в роли возвращающей силы выступает дополнительная архимедова сила, обусловленная смещением тела ареометра относительно положения равновесия. Решив эту систему уравнений, получим ответ.



<i>Дано:</i>	<i>Решение:</i>
<i>Найти:</i>	<i>Ответ:</i>

5.3.16(С). В идеальном колебательном контуре амплитуда колебаний силы тока $I_m = 5$ мА, а амплитуда напряжения на конденсаторе $U_m = 2,0$ В. В некоторый момент времени напряжение на конденсаторе равно 1,2 В. Найдите силу тока в контуре в этот момент.

Пояснение. Составляя исходную систему уравнений, надо связать между собой величины, приводимые в условии задачи, – амплитуду тока в контуре, амплитуду напряжения на конденсаторе, напряжение на нем в заданный момент. Исходных уравнений два: одно из них – закон сохранения энергии для колебательного контура, другое – утверждение о равенстве максимальных значений электрической и магнитной энергий.

<i>Дано:</i>	<i>Решение:</i>
<i>Найти:</i>	<i>Ответ:</i>

5.4. Задания для самопроверки

5.4.1(А). При гармонических колебаниях вдоль оси Ox координата тела изменяется по закону $x = 0,9 \cdot \sin 3t$ (м). Какова частота колебаний ускорения?

1 2 3 4

- 1) $\frac{3t}{2\pi}$ 2) $\frac{2\pi}{3}$ 3) 3 4) $\frac{3}{2\pi}$

5.4.2(А). Маятниковые часы спешат. Чтобы часы шли точно, необходимо увеличить период колебаний маятника. Для этого надо

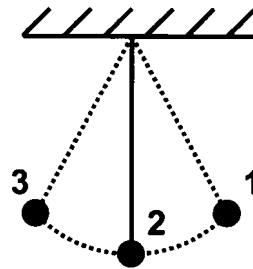
1 2 3 4

- 1) увеличить массу маятника 3) увеличить длину маятника
2) уменьшить массу маятника 4) уменьшить длину маятника

5.4.3(A). Груз на нити колеблется между точками 1 и 3. В каком из указанных положений груза сила натяжения нити максимальна?

1 2 3 4

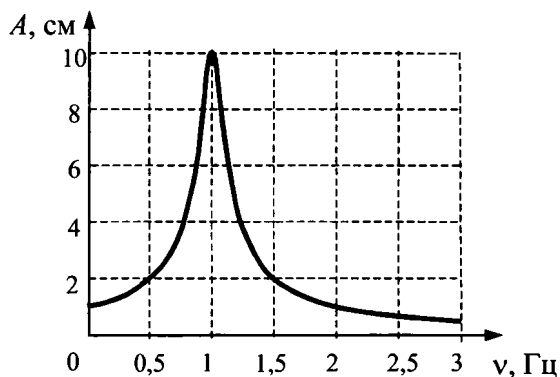
- 1) В точке 2
- 2) В точках 1 и 3
- 3) В точках 1, 2, 3
- 4) Ответ зависит от направления движения



5.4.4(A). На рисунке изображена зависимость амплитуды установившихся колебаний маятника от частоты вынуждающей силы (резонансная кривая). Отношение амплитуды установившихся колебаний маятника на резонансной частоте к амплитуде колебаний на частоте 0,5 Гц равно

1 2 3 4

- 1) 10
- 2) 2
- 3) 5
- 4) 4



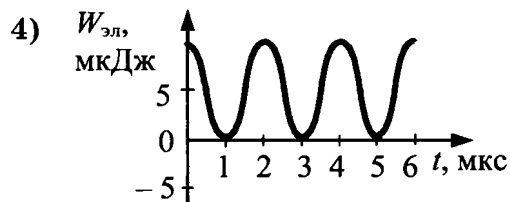
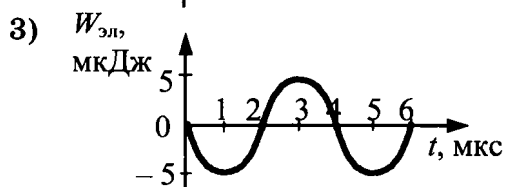
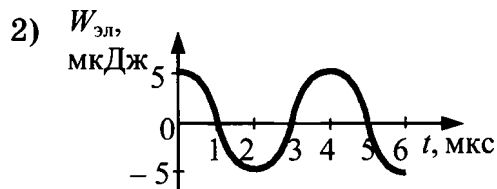
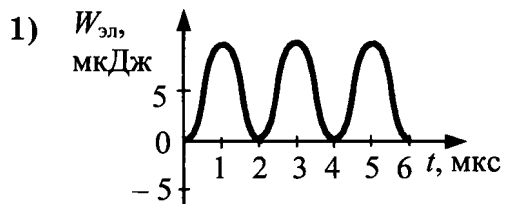
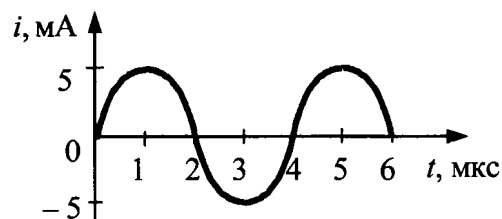
5.4.5(A). Мимо рыбака, сидящего на пристани, прошло 5 гребней волны за 10 с. Каков период колебаний поплавок на волнах?

1 2 3 4

- 1) 5 с
- 2) 50 с
- 3) 2 с
- 4) 0,5 с

5.4.6(A). На рисунке приведен график зависимости силы тока от времени в колебательном контуре. На каком из графиков правильно показан процесс изменения энергии электрического поля конденсатора?

1 2 3 4



5.4.12(АП). Вибратор с частотой колебаний $2,5 \cdot 10^{12}$ Гц возбуждает в среде электромагнитные волны длиной 60 мкм. Каков абсолютный показатель преломления этой среды?

1|2|3|4

- 1) 1,5
- 2) 1,8
- 3) 2
- 4) 2,4

Дано:	Решение:
Найти:	Ответ:

5.4.13(АП). Тело массой 0,1 кг колеблется так, что проекция a_x его ускорения зависит от времени в соответствии с уравнением $a_x = 10 \sin(2\pi/10)t$. Какова проекция на ось OX силы, действующей на тело в момент времени $t = (5/6)$ с?

1|2|3|4

- 1) 0,1 Н
- 2) 0,5 Н
- 3) 1,0 Н
- 4) 1,5 Н

Дано:	Решение:
Найти:	Ответ:

5.4.14(В). Груз массой m , прикрепленный к пружине, совершает горизонтальные колебания с периодом T и амплитудой x_0 . Что произойдет с тремя величинами – периодом, максимальной потенциальной энергией пружины и частотой колебаний, если при неизменной амплитуде уменьшить массу? К каждой позиции первого столбца подберите позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) период
- Б) частота
- В) максимальная потенциальная энергия пружины

ИХ ИЗМЕНЕНИЯ

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

А	Б	В

5.4.15(В). Установите соответствие между физическими величинами и приборами для их измерения.

К каждой позиции первого столбца подберите нужную позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

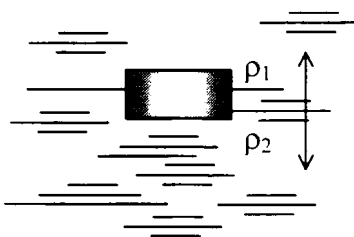
- А) частота колебаний маятника
- Б) амплитуда колебаний маятника

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИХ ИЗМЕРЕНИЯ

- 1) динамометр
- 2) секундомер
- 3) амперметр
- 4) линейка

А	Б

5.4.16(С). Однородный цилиндр с площадью поперечного сечения 10^{-2} м^2 плавает на границе несмешивающихся жидкостей с плотностью 800 кг/м^3 и 1000 кг/м^3 (см. рис.). Пренебрегая сопротивлением жидкостей, определите массу цилиндра, если период его малых вертикальных колебаний $\frac{\pi}{5} \text{ с}$.



<i>Дано:</i>	<i>Решение:</i>
<i>Найти:</i>	<i>Ответ:</i>

5.4.17(С). Полый металлический шарик массой 2 г подвешен на шелковой нити длиной 50 см. Шарик имеет положительный заряд 10^{-8} Кл и находится в однородном электрическом поле напряженностью 10^6 В/м , направленном вертикально вниз. Каков период малых колебаний шарика?

<i>Дано:</i>	<i>Решение:</i>
<i>Найти:</i>	<i>Ответ:</i>

