

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Б1.О.24 ТЕОРИЯ КОЛЕБАНИЙ И ВОЛН

Направление подготовки (специальность) 03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

Профиль подготовки (специализация)

Форма обучения очная

Год набора 2024

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Программу составили
профессор, д-р физ-мат наук А.Р.Коловский

1 Цели и задачи изучения дисциплины

1.1 Цель преподавания дисциплины:

Формирование современного представления о теории колебаний и волн; знакомство с математическими методами исследования физических колебательных систем; знакомство с экстремальными формами волн и нерешенными проблемами.

1.2 Задачи изучения дисциплины:

В результате изучения дисциплины студент должен приобрести знания, умения и навыки, необходимые для его профессиональной деятельности, в частности:

- сформировать представление о теоретических и практических проблемах решения задач в теории колебаний;
- овладеть основными понятиями и математическими методами в теории колебаний и волн;
- сформировать навык и умение выбора оптимальной методики решения поставленной задачи;
- использовать полученные знания при изучении других дисциплин и проведении научных исследований.

1.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы высшего образования:

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине
ОПК-1 Способен применять современные теоретические модели физических явлений, процессов и систем, а также результаты экспериментальных исследований в фундаментальных и прикладных разработках;	
ОПК-1.1 Демонстрирует владение фундаментальными законами общей и теоретической физики	знать основные понятия и математические методы исследования физических колебательных систем
ОПК-1.2 Использует экспериментальные и теоретические методы исследований	уметь выбрать оптимальную методику решения поставленной задачи

Дисциплина реализуется без применения ЭО и ДОТ

2 Объем дисциплины (модуля)

Вид учебной работы	Всего, зачетных единиц (акад.час)	Семестр
		6
Общая трудоемкость дисциплины	2 (72)	2 (72)
Контактная работа с преподавателем:	1 (36)	1 (36)
занятия лекционного типа	0,5 (18)	0,5 (18)
практические занятия	0,5 (18)	0,5 (18)
Самостоятельная работа обучающихся	1 (36)	1 (36)
Вид промежуточной аттестации (Зачет)		Зачёт

3 Содержание дисциплины (модуля)

№ п/п	Вид работ	Темы занятия	Объем часов	Семестр /курс	Часы в эл. формате
Раздел 1. Системы с одной степенью свободы					
1.	Лек	Понятие динамических систем, линейные динамические системы	2	6	
2.	Лек	Гамильтониан консервативной системы, уравнения Гамильтона, фазовый портрет системы	2	6	
3.	Лек	Элементы ТФКП (комплексные числа, формула Эйлера)	1	6	
4.	Лек	Описание гармонических колебаний с помощью ТФКП	1	6	
5.	Лек	Затухающие колебания, понятие аттрактора	1	6	
6.	Лек	Вынужденные колебания, линейный резонанс	1	6	
7.	Пр	Свободные незатухающие колебания	4	6	
8.	Пр	Свободные затухающие колебания	4	6	
9.	Пр	Вынужденные колебания	4	6	
10.	Ср	Системы с одной степенью свободы	12	6	
Раздел 2. Системы с конечным числом степеней свободы					
1.	Лек	Элементы нелинейности (осциллятор Дюффинга, понятие нелинейного резонанса)	1	6	
2.	Лек	Параметрический резонанс	1	6	
3.	Лек	Система связанных осцилляторов, собственные частоты	2	6	
4.	Лек	Континуальный предел, энергия упругих колебаний стержня	2	6	
5.	Пр	Свободные колебания с двумя степенями свободы	4	6	
6.	Ср	Системы с конечным числом степеней свободы	12	6	
Раздел 3. Распространение волн					
1.	Лек	Одномерные волновые уравнения, закон дисперсии волн	1	6	
2.	Лек	Временная эволюция волнового пакета, групповая скорость	1	6	
3.	Лек	Электромагнитные волны	2	6	
4.	Пр	Упругие волны	2	6	
5.	Ср	Распространение волн	12	6	
6.	Зачёт	Зачет		6	

4 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

4.1 Печатные и электронные издания:

1. Трубецков Д. И., Рожнев А. Г. Линейные колебания и волны: учебное пособие для вузов по физическим специальностям. - Москва: Физматлит, 2001. - 415 с..

2. Ильин М. М., Колесников К. С., Саратов Ю. С., Колесников К. С. Теория колебаний: учебник для студентов вузов. - Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. - 271 с..

3. Горелик Г. С., Рытов С. М. Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику: учебное пособие для вузов по направлению подготовки "Прикладная математика и физика". - Москва: Физматлит, 2007. - 655 с..

4. Ахманов С. А., Дьяков Ю. Е., Чиркин А. С. Статистическая радиофизика и оптика. Случайные колебания и волны в линейных системах: монография. - Москва: Физматлит, 2010. - 425 с..

5. Валькова Т. А., Головня А. А., Дзедзисашвили Д. М., Мезенцев А. В., Валькова Т. А. Аналитическая динамика и теория колебаний [Электронный ресурс]: сб. расчетных заданий для подготовки бакалавров 151600.62 "Прикладная механика". - Красноярск: СФУ, 2012. - 103 с. – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/b22/i-092585.pdf>.

6. Биркгоф Д. Д., Марков А. А., Немыцкий В. В., Степанов В. В. Динамические системы [Электронный ресурс]:. - Ижевск: Удмуртский университет, 1999. - – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/b22/0105314.pdf>.

7. Машуков А. В., Вершинина Н. И., Машукова А. Е. Колебания и волны: учебное пособие для вузов по инженернотехническим специальностям. - Красноярск: Красноярский университет цветных металлов и золота [ГУЦМиЗ], 2006. - 119 с..

8. Михасев Г. И., Товстик П. Е. Локализованные колебания и волны в тонких оболочках. Асимптотические методы: - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2009. - 292 с..

9. Агафонов Е. Д., Шестернева О. В. Математическое моделирование линейных динамических систем [Электронный ресурс]: учеб. пособие. - Красноярск: ИПК СФУ, 2011. - 94 с. – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/b22/i-816136.pdf>.

10. Вепринцев В. И. Теория колебаний [Электронный ресурс]: методические указания по выполнению расчетно-графических заданий. - Красноярск: ИПК СФУ, 2009. - 42 с. – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/u53/i-851572.pdf>.

11. Коловский А.Р. Теория колебаний и волн [Электронный ресурс]: [учеб-метод. материалы к изучению дисциплины для ...03.03.02.01 Фундаментальная физика, 14.03.02 Ядерная физика и технологии, 16.03.01 Техническая физика, 28.03.01.02 Материалы микро- и наносистемной техники]. - Красноярск: СФУ, 2018. - – Режим доступа: <https://e.sfu-kras.ru/course/view.php?id=18402>.

4.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства (программное обеспечение, на которое университет имеет лицензию, а также свободно распространяемое программное обеспечение):

1. Adobe Acrobat Reader DC . Программное обеспечение для просмотра и печати файлов PDF.

2. Microsoft Office Professional Plus 2007 Russian Academic. Офисный пакет Microsoft Office.

4.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

1. Мир математических уравнений <http://eqworld.ipmnet.ru>

2. Поисковая машина электронных книг <http://www.poiskknig.ru>

3. Файловый архив для студентов <http://www.studfiles.ru>

4. Электронно-библиотечная система СФУ <http://bik.sfu-kras.ru/>

5 Фонд оценочных средств

Фонд оценочных средств является приложением к рабочей программе дисциплины (модуля), хранится на кафедре, обеспечивающей преподавание данной дисциплины (модуля).

6 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

учебная аудитория для проведения лекционных, семинарских и практических занятий: Специализированная мебель, демонстрационное оборудование, АРМ преподавателя, подключение к сети «Интернет» и индивидуальный неограниченный доступ в ЭИОС университета

помещение для самостоятельной работы обучающихся: специализированная мебель, демонстрационное оборудование, АРМ преподавателя, АРМ обучающихся, подключение к сети «Интернет» и индивидуальный неограниченный доступ в ЭИОС университета

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

По дисциплине (модулю)/ практике Б1.О.24 Теория колебаний и волн

Направление подготовки/специальность

03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

Образовательная программа

03.05.02.30 Фундаментальная и прикладная физика

1. Перечень компетенций с указанием индикаторов их достижения, соотнесенных с результатами обучения по дисциплине (модулю), практики и оценочными средствами

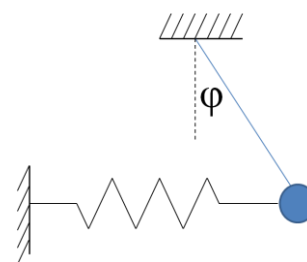
Семестр ¹	Код и содержание индикатора компетенции	Результаты обучения ²	Оценочные средства ³
ОПК-1: Способен применять современные теоретические модели физических явлений, процессов и систем, а также результаты экспериментальных исследований в фундаментальных и прикладных разработках			
6	ОПК-1.1: Демонстрирует владение фундаментальными законами общей и теоретической физики	знать основные понятия и математические методы исследования физических колебательных систем	Решение задач Контрольные вопросы к зачету
6	ОПК-1.2: Использует экспериментальные и теоретические методы исследований	уметь выбрать оптимальную методику решения поставленной задачи	Решение задач Контрольные вопросы к зачету

2. Типовые оценочные средства или иные материалы, с описанием шкал оценивания и методическими материалами, определяющими процедуру проведения и оценивания достижения результатов обучения

Тема: Свободные незатухающие колебания

Задачи

1. Математический маятник массой m и длиной l скреплён с пружиной жёсткости k . В нижнем положении маятника пружина не деформирована (см. рисунок). Составить дифференциальное уравнение малых колебаний маятника.



2. Горизонтальный жёлоб слева выгнут по цилиндрической поверхности радиуса r , а справа - по поверхности радиуса R . Найти отношение наибольших отклонений влево и вправо при малых колебаниях в жёлобе небольшого шарика.

¹ Семестры указываются по порядку, для каждого индикатора

² Указываются результаты обучения по дисциплине (модулю), практике, соотнесенные с индикатором достижения компетенции.

³ Указываются оценочные средства для каждого индикатора.

3. Шар-зонд, имеющий нерастяжимую оболочку, совершает малые колебания около равновесного уровня. Найти период этих колебаний, считая, что на такой высоте плотность воздуха ρ убывает с высотой постоянной скоростью $\delta = 1.2 \cdot 10^{-4} \rho_0$ на каждый метр подъёма, ρ_0 - плотность воздуха на равновесной для шара высоте. Трением шара о воздух пренебречь.

4. Определить период малых колебаний математического маятника – шарика, подвешенного на нити длины l , если он находится в жидкости, плотность которой в η раз меньше плотности шарика. Сопротивление жидкости считать пренебрежимо малым.

5. Колебательный контур состоит из конденсатора ёмкости C , катушки индуктивности L с пренебрежимо малым сопротивлением и ключа. При разомкнутом ключе конденсатор зарядили до напряжения U_m и затем в момент $t = 0$ замкнули ключ. Найти ток в контуре как функцию времени $I(t)$. Найти ЭДС самоиндукции в катушке в моменты, когда электрическая энергия конденсатора оказывается равной энергии тока в катушке.

6. На колеблющийся шарик массы m на пружине жесткостью k действует сила трения $F_{mp} = -\lambda v$. Каким должен быть коэффициент λ , чтобы а) движение носило апериодический характер? б) полная энергия системы сохранялась. Во сколько раз уменьшится амплитуда колебаний за 1 период, если считать трение малым?

7. Математический маятник совершает колебания в среде, для которой логарифмический декремент затухания $\lambda_0 = 1.5$. Каким будет логарифмический декремент затухания, если сопротивление среды увеличить в $n = 2$ раза? Во сколько раз следует увеличить сопротивление среды, чтобы колебания стали невозможны?

8. Проводник в форме квадратной рамки со стороной a , подвешенный на упругой нити, находится в однородном горизонтальном магнитном поле с индукцией B . В положении равновесия плоскость параллельна \vec{B} . Момент инерции I , электрическое сопротивление R . Пренебрегая индуктивностью рамки, найти время, через которое амплитуда её углового поворота уменьшится в e раз.

9. Колебательный контур содержит конденсатор с утечкой. Ёмкость конденсатора C , его активное сопротивление R . Индуктивность катушки L . Сопротивление катушки и проводов мало. Найти частоту затухающих колебаний и добротность контура.

10. Некоторая точка совершает затухающие колебания с частотой ω . Найти коэффициент затухания β , если в начальный момент скорость точки равна нулю, а её смещение из положения равновесия в η раз меньше амплитуды в этот момент.

11. Шарик массы m может совершать незатухающие гармонические колебания около точки $x = 0$ с собственной частотой ω_0 . В момент времени $t = 0$, когда шарик находился в состоянии равновесия, к нему приложили вынуждающую силу $F = F_0 \cos(\omega t)$, совпадающую по направлению с осью x . Найти закон движения шарика $x(t)$.

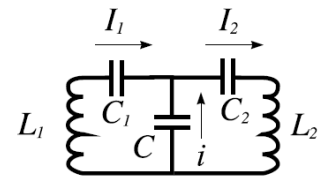
12. Частица массы m может совершать незатухающие гармонические колебания под действием упругой силы с коэффициентом k . Когда частица находилась в состоянии равновесия, к ней приложили постоянную силу F , которая действовала в течение τ секунд. Найти амплитуду колебания частицы после окончания действия этой силы. Изобразить примерный график $x(t)$.

13. Цепь, состоящая из последовательно соединённых конденсатора C и катушки L с активным сопротивлением R , подключена к сети переменного напряжения с амплитудой U_m и частотой ω . Найти: а) амплитуду тока в цепи, б) разность фаз между током и внешним напряжением, в) амплитуду напряжения на конденсаторе и катушке.

14. Цепь, содержащая последовательно соединённые конденсатор и катушку с активным сопротивлением, подключена к источнику гармонического напряжения, частоту которого можно менять, не изменяя амплитуды. При частотах ω_1 и ω_2 амплитуды тока оказались в n раз меньше резонансной амплитуды. Найти: а) резонансную частоту, б) добротность цепи.

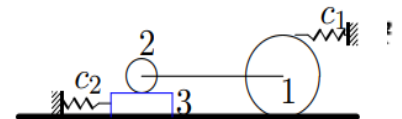
15. Шарик массы m , подвешенный на невесомой пружинке, может совершать вертикальные колебания с коэффициентом затухания β . Собственная частота колебаний равна ω_0 . Под действием внешней вертикальной силы, меняющейся по закону $F = F_0 \cos(\omega t)$, шарик совершает установившиеся гармонические колебания. Найти: а) среднюю за период колебаний мощность $\langle P \rangle$ силы F , б) частоту ω силы F , при которой $\langle P \rangle$ максимальна; чему равна $\langle P \rangle_m$?

16. Получить уравнение, описывающее изменение тока в системе двух связанных колебательных контуров (см. рисунок). Найти собственные частоты.



17. Два физических маятника совершают малые колебания вокруг одной и той же горизонтальной оси с частотами ω_1 и ω_2 . Их моменты инерции относительно данной оси равны соответственно I_1 и I_2 . Маятники привели в состояние устойчивого равновесия и скрепили друг с другом. Какова будет частота малых колебаний составного маятника?

18. Механическая система состоит из однородных цилиндров с массами $m_1 = 16/3$ кг, $m_2 = 8$ кг и бруска $m_3 = 2$ кг. Жесткость одной пружины дана $c_1 = 1$ Н/м (см. рисунок).



Жесткость второй найти из условия минимума разности собственных частот системы. Цилиндр 2 катится без проскальзывания по бруску. Брусок скользит без сопротивления по плоскости.

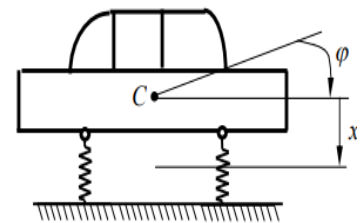
19. Два груза могут двигаться по горизонтальной прямой (см. рисунок). Кинетическая энергия этой механической системы равна $T = 3\dot{q}_1 + 8\dot{q}_2$, потенциальная $\Pi = 12(q_1 - q_2)^2$, где q_1 и q_2 – обобщенные координаты. Определить низшую собственную частоту колебаний механической системы.

20. Дифференциальные уравнения колебаний автомобиля в вертикальной плоскости имеют вид:

$$6\ddot{x} + 2\ddot{\varphi} + 100x + 120\varphi = 0;$$

$$2\ddot{x} + 8\ddot{\varphi} + 120x + 150\varphi = 0,$$

где x и φ – обобщенные координаты (см. рисунок).



Определить высшую частоту колебаний автомобиля.

C – центр масс автомобиля

21. Задано уравнение плоской волны $u = A\cos(\omega t - kx)$, где $A = 0,5$ см, $\omega = 628$ с⁻¹, $k = 2$ м⁻¹. Определить: 1) длину волны λ ; 2) фазовую скорость $v_{\text{фаз}}$; 3) максимальные значения скорости \dot{u}_{max} и ускорения \ddot{u}_{max} колебаний частиц среды.

22. 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 смещение, скорость и ускорение в момент $t = 7$ мс. Начальную фазу колебаний принять равной нулю.

23. Плоская волна распространяется вдоль оси x со скоростью v . Амплитуда колебаний частиц среды равна A . Две точки, находящиеся от

источника колебаний на расстоянии x_1 и x_2 ($x_2 > x_1$), колеблются с разностью фаз $\Delta\varphi$. Определить скорости данных точек в момент времени t .

24. При каком условии гармоническая плоская волна $u(x, t) = A\sin(\omega t - kx)$ будет решением волнового уравнения?

25. В среде распространяется незатухающая плоская гармоническая волна. Найти среднюю объемную плотность полной энергии колебаний $\langle w \rangle$, если в любой точке среды объемная плотность энергии равна w_0 через одну шестую периода колебаний после прохождения максимума смещения.

Тема: Свободные затухающие колебания

Задачи

1. На колеблющийся шарик массы m на пружине жесткостью k действует сила трения $F_{\text{тр}} = -\lambda v$. Каким должен быть коэффициент λ , чтобы а) движение носило апериодический характер? б) полная энергия системы сохранялась. Во сколько раз уменьшится амплитуда колебаний за 1 период, если считать трение малым?

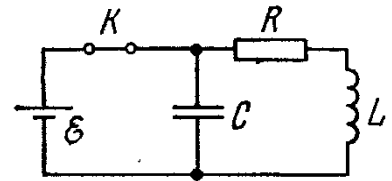
2. Математический маятник совершает колебания в среде, для которой логарифмический декремент затухания $\lambda_0 = 1.5$. Каким будет логарифмический декремент затухания, если сопротивление среды увеличить в $n = 2$ раза? Во сколько раз следует увеличить сопротивление среды, чтобы колебания стали невозможны?

3. Частицу сместили из положения равновесия на расстояние $l = 1$ см и отпустили. Какой путь пройдет эта частица до полной остановки, если логарифмический декремент затухания $\lambda = 0.02$?

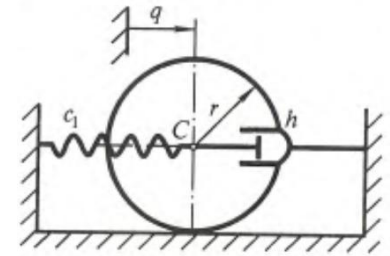
4. Проводник в форме квадратной рамки со стороной a , подвешенный на упругой нити, находится в однородном горизонтальном магнитном поле с индукцией B . В положении равновесия плоскость параллельна \vec{B} . Момент инерции I , электрическое сопротивление R . Пренебрегая индуктивностью рамки, найти время, через которое амплитуда её углового поворота уменьшится в e раз.

5. Колебательный контур содержит конденсатор с утечкой. Ёмкость конденсатора C , его активное сопротивление R . Индуктивность катушки L . Сопротивление катушки и проводов мало. Найти частоту затухающих колебаний и добротность контура.

6. Контур состоит из последовательно включённых конденсатора ёмкости C , катушки L , ключа и сопротивления, равного критическому для данного контура. При разомкнутом ключе конденсатор зарядили до напряжения U_0 и в момент $t = 0$ ключ замкнули. Найти ток I в контуре как функцию времени. Чему равен I_{max} ?

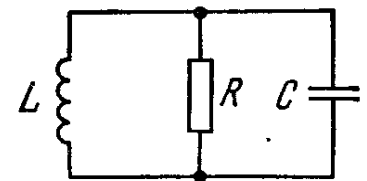


7. Дана схема (см. рисунок), в которой ЭДС элемента ε , его внутреннее сопротивление r , ёмкость конденсатора C , индуктивность катушки L , сопротивление R . В некоторый момент времени ключ K разомкнули. Найти энергию колебаний в контуре: а) непосредственно после размыкания K , б) через время t после размыкания.



8. Однородный диск массой m может катиться без скольжения по горизонтальной плоскости (см. рисунок). С диском скреплены пружина, жёсткость которой c_1 , и демпфер, создающий силу, пропорциональную скорости движения: $\vec{F}'(\vec{v}) = -h\vec{v}$. Центр диска сместили вправо от положения равновесия на l и отпустили без начальной скорости. Определить закон движения центра диска и добротность системы.

9. Некоторая точка совершает затухающие колебания с частотой ω . Найти коэффициент затухания β , если в начальный момент скорость точки равна нулю, а её смещение из положения равновесия в η раз меньше амплитуды в этот момент.



10. Найти частоту затухающих колебаний контура, показанного на рисунке. Ёмкость C индуктивность L и активное сопротивление R предполагаются известными. Выяснить, при каком соотношении между C , L и R колебания возможны.

11. К невесомой пружинке подвесили грузик, в результате чего она растянулась на Δx . С каким периодом будет колебаться грузик, если ему дать небольшой толчок в вертикальном направлении? Логарифмический декремент затухания λ .

12. Колебательный контур состоит из конденсатора ёмкости C и катушки с индуктивностью L и активным сопротивлением R . Найти

отношение энергии магнитного поля катушки к энергии электрического поля конденсатора в момент максимума тока.

Тема: Вынужденные колебания

Задачи

1. Шарик массы m может совершать незатухающие гармонические колебания около точки $x = 0$ с собственной частотой ω_0 . В момент времени $t = 0$, когда шарик находился в состоянии равновесия, к нему приложили вынуждающую силу $F = F_0 \cos(\omega t)$, совпадающую по направлению с осью x . Найти закон движения шарика $x(t)$.

2. Частица массы m может совершать незатухающие гармонические колебания под действием упругой силы с коэффициентом k . Когда частица находилась в состоянии равновесия, к ней приложили постоянную силу F , которая действовала в течение τ секунд. Найти амплитуду колебания частицы после окончания действия этой силы. Изобразить примерный график $x(t)$.

3. Цепь, состоящая из последовательно соединённых конденсатора C и катушки L с активным сопротивлением R , подключена к сети переменного напряжения с амплитудой U_m и частотой ω . Найти: а) амплитуду тока в цепи, б) разность фаз между током и внешним напряжением, в) амплитуду напряжения на конденсаторе и катушке.

4. Цепь, содержащая последовательно соединённые конденсатор и катушку с активным сопротивлением, подключена к источнику гармонического напряжения, частоту которого можно менять, не изменяя амплитуды. При частотах ω_1 и ω_2 амплитуды тока оказались в n раз меньше резонансной амплитуды. Найти: а) резонансную частоту, б) добротность цепи.

5. При частотах вынуждающей гармонической силы ω_1 и ω_2 амплитуда скорости частицы равна половине максимального значения. Найти: а) частоту, соответствующую резонансу скорости, б) коэффициент затухания β и частоту затухающих колебаний ω частицы.

6. Шарик массы m , подвешенный на невесомой пружинке, может совершать вертикальные колебания с коэффициентом затухания β . Собственная частота колебаний равна ω_0 . Под действием внешней вертикальной силы, меняющейся по закону $F = F_0 \cos(\omega t)$, шарик совершает установившиеся гармонические колебания. Найти: а) среднюю за период

колебаний мощность $\langle P \rangle$ силы F , б) частоту ω силы F , при которой $\langle P \rangle$ максимальна; чему равна $\langle P \rangle_m$?

7. Конденсатор ёмкости C и катушка с активным сопротивлением R и индуктивностью L подключили параллельно к источнику синусоидального напряжения с действующим значением U . Найти: а) частоту ω , при которой наступает резонанс, б) действующее значение подводимого тока при резонансе, а также соответствующие токи через катушку и конденсатор.

8. Кольцо из тонкого провода с активным сопротивлением R и индуктивностью L вращают с постоянной угловой скоростью ω во внешнем однородном магнитном поле, перпендикулярном оси вращения. При этом поток магнитной индукции внешнего поля через кольцо изменяется во времени по закону $\Phi = \Phi_0 \cos(\omega t)$. Показать, что: а) индукционный ток $I = I_m \sin(\omega t - \varphi)$, где $I_m = \frac{\omega \Phi_0}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}$, $\tan(\varphi) = \frac{\omega L}{R}$, б) средняя механическая мощность, развиваемая внешними силами для поддержания вращения, определяется формулой $P = 0.5 \omega^2 \Phi_0^2 R \frac{1}{R^2 + \omega^2 L^2}$.

9. Переменное напряжение с частотой ω и амплитудным значением U_m подключено к концам цепи, состоящей из последовательно соединённых конденсатора и катушки с активным сопротивлением R и индуктивностью L . При каком значении ёмкости конденсатора амплитуда напряжения на катушке будет максимальной? Чему равна эта амплитуда и соответствующая амплитуда напряжения на конденсаторе?

10. Амплитуда смещений вынужденных гармонических колебаний при частотах ω_1 и ω_2 равны между собой. Найти частоту, при которой амплитуда смещения максимальна.

11. Конденсатор ёмкости C , пространство между обкладками которого заполнено слабо проводящей средой с активным сопротивлением R , подключили к источнику переменного напряжения $U = U_m \cos(\omega t)$. Найти установившийся ток в подводящих проводах в зависимости от времени. Сопротивление проводов пренебрежимо мало.

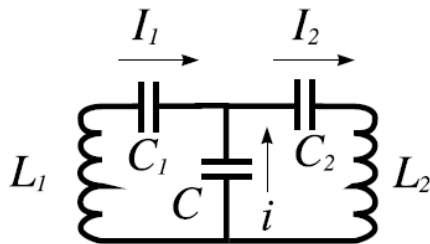
12. Шарик массы m , подвешенный к пружинке, удлиняет последнюю на величину Δl . Под действием внешней вертикальной силы, меняющейся по гармоническому закону с амплитудой F_0 , шарик совершает вынужденные колебания. Логарифмический декремент затухания равен λ . Пренебрегая массой пружинки, найти круговую частоту вынуждающей силы, при которой

амплитуда смещения шарика максимальна. Каково значение этой амплитуды?

Тема: Свободные колебания систем с двумя степенями свободы

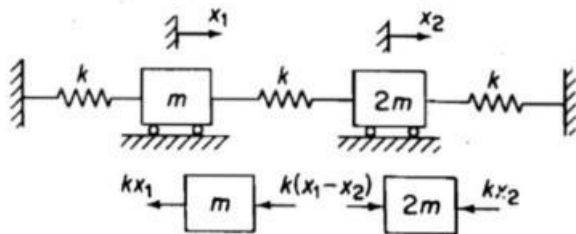
Задачи

1. Получить уравнение, описывающее изменение тока в системе двух связанных колебательных контуров (см. рисунок). Найти собственные частоты.

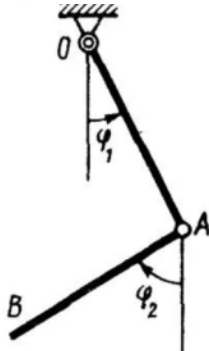


2. Два физических маятника совершают малые колебания вокруг одной и той же горизонтальной оси с частотами ω_1 и ω_2 . Их моменты инерции относительно данной оси равны соответственно I_1 и I_2 . Маятники привели в состояние устойчивого равновесия и скрепили друг с другом. Какова будет частота малых колебаний составного маятника?

3. Определить главные колебания системы, указанной на рисунке ниже.

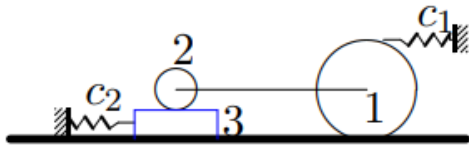


4. Однородный стержень АВ длиной L подвешен при помощи нити длиной $l=0,5L$ к неподвижной точке (см. рисунок). Пренебрегая массой нити, определить частоты главных колебаний системы и найти отношение отклонений стержня и нити от вертикали при первом и втором главных колебаниях.



5. Механическая система состоит из однородных цилиндров с массами $m_1=16/3$ кг, $m_2=8$ кг и бруска $m_3=2$ кг. Жесткость одной пружины дана

$c_1=1\text{Н/м}$ (см. рисунок). Жесткость второй найти из условия минимума разности собственных частот системы. Цилиндр 2 катится без проскальзывания по бруску. Брусок скользит без сопротивления по плоскости.

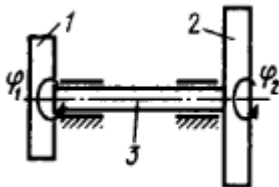


6. Механическая система, состоящая из дисков 1 и 2, установленных на упругом валу 3 (см. рисунок), совершает угловые колебания, которые описываются дифференциальными уравнениями

$$3\varphi_1 + 110(\varphi_1 - \varphi_2) = 0;$$

$$7\varphi_2 + 110(\varphi_2 - \varphi_1) = 0.$$

Определить низшую собственную частоту колебаний.



Тема: Упругие волны

Задачи

1. Задано уравнение плоской волны $u = A \cos(\omega t - kx)$, где $A = 0,5$ см, $\omega = 628 \text{ с}^{-1}$, $k = 2 \text{ м}^{-1}$. Определить: 1) длину волны λ ; 2) фазовую скорость $v_{\text{фаз}}$; 3) максимальные значения скорости \dot{u}_{max} и ускорения \ddot{u}_{max} колебаний частиц среды.

2. 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 смещение, скорость и ускорение в момент $t = 7$ мс. Начальную фазу колебаний принять равной нулю.

3. Плоская волна распространяется вдоль оси x со скоростью v . Амплитуда колебаний частиц среды равна A . Две точки, находящиеся от источника колебаний на расстояниях x_1 и x_2 ($x_2 > x_1$), колеблются с разностью фаз $\Delta\varphi$. Определить скорости данных точек в момент времени t .

4. При каком условии гармоническая плоская волна $u(x, t) = A \sin(\omega t - kx)$ будет решением волнового уравнения?

5. Определить, как и во сколько раз изменится частота основного тона натянутой струны, если ее длину укоротить на 35%, а натяжение увеличить на 70%.

6. В среде K распространяется упругая плоская волна $\xi = a \cos(\omega t - kx)$. Найти уравнение этой волны в K' -системе отсчета, движущейся в положительном направлении оси x с постоянной скоростью V по отношению к среде K . Исследовать полученное выражение.

7. В среде распространяется незатухающая плоская гармоническая волна. Найти среднюю объемную плотность полной энергии колебаний $\langle w \rangle$, если в любой точке среды объемная плотность энергии равна w_0 через одну шестую периода колебаний после прохождения максимума смещения.

8. Неподвижный наблюдатель воспринимает звуковые колебания от двух камертонов, один из которых приближается, а другой – с такой же скоростью удаляется. При этом наблюдатель слышит биения с частотой $\nu=2$ Гц. Найти скорость каждого камертона, если их частота колебаний $\nu_0=680$ Гц и скорость звука в воздухе $\nu=340$ м/с.

9. За сколько времени звуковые колебания пройдут расстояние l между точками А и В, если температура воздуха между ними меняется линейно от T_1 до T_2 ? Скорость звука в воздухе $\nu=\alpha\sqrt{T}$, где α – постоянная.

10. Плоская гармоническая волна с частотой ω распространяется со скоростью ν в направлении, составляющем углы α, β, γ с осями x, y, z . Найти разность фаз колебаний в точках среды с координатами x_1, y_1, z_1 и x_2, y_2, z_2 .

Методические рекомендации по решению задач

Комплект задач (по разным темам) преподаватель, ведущий практические занятия, формирует индивидуально для каждого студента. Решать задачи можно как самостоятельно, так и на практических занятиях. Сдача задач осуществляется во время практических занятий.

Общие положения, которыми необходимо руководствоваться при решении задач.

1. Сначала следует понять, о каких явлениях или процессах идёт речь в задаче, сопоставить им соответствующие законы.

2. Осознать смысл физических величин, описывающих данные процессы и входящих в формулы соответствующих законов.

3. Если это необходимо, нарисовать схему или чертеж, на котором указать соответствующие величины, направления векторных величин и т.д.

4. Выяснить, какие величины, входящие в выбранные формулы законов, даны, а какие надо определить. Найти необходимые для расчетов табличные величины в справочной литературе.

5. Последовательно используя формулы для нахождения неизвестных величин, получить окончательные рабочие расчетные формулы для величин, которые требуется определить. Как правило, задачи следует решать в общем виде, т.е. в буквенных выражениях. При этом не производятся вычисления промежуточных величин: числовые значения подставляются только в окончательные рабочие формулы, выражающие искомые величины.

6. Произвести расчеты, подставляя числовые значения.

7. Проверить, дает ли общая формула правильную размерность (единицу измерения) искомой величины. Для этого в формулу следует

подставить размерность всех величин и произвести необходимые действия. Если полученная таким путем размерность не совпадает с размерностью искомой величины, то задача решена неверно.

Критерии оценивания решения задач

Итоги этого вида текущего контроля усвоения материала «уровневой оценке» не подлежат. Оценка – зачет/незачет.

Шкала оценивания	
незачет	зачет
При решении задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. Уровень знаний ниже минимальных требований.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все задачи с негрубыми ошибками. Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки.

Перечень контрольных вопросов к зачету:

1. Дифференциальные уравнения колебаний линейной системы с одной степенью свободы.
2. Фазовая траектория. Фазовая плоскость.
3. Особые точки динамической системы.
4. Свободные колебания консервативной системы.
5. Свободные движения неконсервативной системы.
6. Потери энергии при наличии трения.
7. Добротность колебаний.
8. Вынужденные колебания при гармоническом возбуждении.
9. Резонанс.
10. Параметрические колебания.
11. Параметрический резонанс.
12. Дифференциальные уравнения колебаний линейной системы с конечным числом степеней свободы.
13. Свободные колебания консервативной системы с двумя степенями свободы.
14. Вынужденные колебания линейной системы с двумя степенями свободы при гармоническом возбуждении.
15. Система связанных осцилляторов.
16. Нормальные колебания.
17. Энергия системы связанных осцилляторов. Диссипация энергии.
18. Скалярное и векторное сложение колебаний. Биения.
19. Понятие волны. Амплитуда и фаза волны. Длина волны.
20. Волновое уравнение.
21. Волновое уравнение с учётом трения. Дисперсия.
22. Волны в упругих телах. Поперечные волны.
23. Продольные волны.
24. Энергия колебаний в волне. Вектор Умова-Пойнтинга.

25. Волны в периодических системах.

Методические рекомендации по проведению зачета:

Цель зачета - проверить теоретические знания обучающихся, их навыки и умения. Форма проведения зачета - устный опрос по билетам. В билет включаются два теоретических вопроса из разных разделов программы.

Критерии оценки зачета:

«Зачтено» выставляется обучающемуся, если в ответе верно изложено не менее 50% материала и не допущено существенных неточностей.

«Не зачтено» выставляется обучающемуся, который не знает значительной части (более 50 %) программного материала и допускает существенные ошибки.

Разработчик



А.Р. Коловский