Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

53
К602

№ 5048

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ФИЗИКЕ

Методические указания для студентов I и II курсов

НОВОСИБИРСК
2026

УДК 534(076.1)
К602

Составители:

доцент *А. В. Баранов*

доцент *В. В. Давыдков*

доцент *В. В. Христофоров*

Рецензент доцент кафедры общей физики *Г. Ф. Сивых*

Работа подготовлена на кафедре общей физики

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

**ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ФИЗИКЕ**

Методические указания для студентов I и II курсов

Редактор *Л.Н. Киншт*
Выпускающий редактор *И.П. Брованова*
Дизайн обложки *А.В. Ладыжская*
Компьютерная верстка *Л.А. Веселовская*

Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции
Издание соответствует коду 95 3000 ОК 005-93 (ОКП)

Подписано в печать 25.03.2026. Формат 60 × 84 1/16. Бумага офсетная. Тираж 50 экз.
Уч.-изд. л. 2,09. Печ. л. 2,25. Изд. № 192/25. Заказ № 94. Цена договорная

Отпечатано в типографии
Новосибирского государственного технического университета
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

© Новосибирский государственный
технический университет, 2026

ПРЕДИСЛОВИЕ

Методические указания предназначены для студентов, выполняющих лабораторный практикум по курсу физики на кафедре общей физики НГТУ.

Указания содержат вопросы, которые могут быть заданы студентам во время защиты лабораторных работ по разделу «Колебания и волны».

Вопросы разделены по уровню сложности на три группы.

Вопросы *первого уровня сложности* требуют от студента знания основных понятий, определений физических величин и формулировок физических законов. Для успешной защиты на первом уровне студент должен правильно ответить на три указанных преподавателем вопроса этого уровня. Максимальный балл, который преподаватель может начислить студенту за защиту на первом уровне, соответствует оценке «удовлетворительно».

Вопросы *второго уровня сложности* требуют от студента знания сути изучаемых физических явлений и процессов, особенностей проводимого физического эксперимента. Для успешной защиты на втором уровне студент должен правильно ответить на один вопрос второго уровня и на три вопроса первого уровня. Максимальный балл, который преподаватель может начислить студенту за защиту на втором уровне, соответствует оценке «хорошо».

Вопросы *третьего уровня сложности* требуют от студента знания теории и умения использовать ее для объяснения и математического описания изучаемых явлений и процессов. Для успешной защиты на третьем уровне студент должен правильно ответить на один вопрос третьего уровня, один вопрос второго уровня и на три вопроса первого уровня. Максимальный балл, который преподаватель может начислить студенту за защиту на третьем уровне, соответствует оценке «отлично».

Уровень сложности и, соответственно, возможный максимальный балл выбирается студентом. Реальный балл, начисляемый студенту, определяется преподавателем по итогам защиты лабораторной работы.

Виртуальная лабораторная работа № 20В

СОБСТВЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ СВЯЗАННЫХ ПРУЖИННЫХ МАЯТНИКОВ

Первый уровень

1. Что такое связанные маятники? Схематично изобразите связанные маятники.

2. Что такое нормальные колебания связанных маятников?

3. Что такое первое нормальное колебание и чему равна его частота?

4. Что такое второе нормальное колебание и чему равна его частота?

5. Какие колебания возникнут в системе связанных маятников, если начальные смещения грузов от равновесных положений будут различны?

Второй уровень

1. Как в данной лабораторной работе возбуждаются первое и второе нормальные колебания? Чему равны и от чего зависят их частоты?

2. Как в данной лабораторной работе возбуждаются биения? Чему равны и от чего зависят их частоты?

Третий уровень

1. Получите уравнения, описывающие движение связанных маятников. На основе этих уравнений покажите возможность возникновения в системе связанных маятников нормальных и негармонических колебаний.

2. Используя уравнения, описывающие движение связанных маятников, проанализируйте процесс обмена энергией между маятниками.

Лабораторная работа № 21

ИЗУЧЕНИЕ СЛОЖЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ

Первый уровень

1. Что такое колебания? Что такое гармонические колебания? Запишите формулу для гармонических колебаний напряжения U.

2. Почему гармонические колебания играют особую роль в теории колебаний?

3. Что такое амплитуда, период, частота, циклическая частота, фаза, начальная фаза колебаний?

4. Изобразите график зависимости напряжения U от времени t при гармонических колебаниях. Покажите, как изменится график, если увеличить амплитуду колебаний.

5. Изобразите график зависимости напряжения U от времени t при гармонических колебаниях. Покажите, как изменится график, если увеличить период колебаний.

6. Изобразите график зависимости напряжения U от времени t при гармонических колебаниях. Покажите, как изменится график, если увеличить частоту колебаний.

7. Изобразите график зависимости напряжения U от времени t при гармонических колебаниях. Покажите, как изменится график, если начальная фаза колебаний увеличится на π радиан.

8. Как сложить одинаково направленные гармонические колебания методом векторных диаграмм?

9. Что такое биения? Как получить такие колебания?

10. Как при сложении гармонических колебаний точки получить траекторию ее движения в виде фигуры Лиссажу?

11. Нарисуйте простейшую фигуру Лиссажу. Объясните, при каких условиях она получается.

Второй уровень

1. Объясните, как в лабораторной работе получают два гармонических колебания с одинаковой частотой. Что именно колеблется?

2. Объясните, какой прибор используется для визуального наблюдения двух гармонических колебаний одновременно. Колебания какого объекта при этом наблюдаются?

3. Как в опыте определяется разность фаз двух складываемых одинаково направленных гармонических колебаний?

4. Как в опыте получают два гармонических взаимно перпендикулярных колебания? Можно ли с помощью осциллографа наблюдать отдельно каждое из них?

5. Каким образом осуществляется сложение двух гармонических взаимно перпендикулярных колебаний? Что именно наблюдается при этом на экране осциллографа?

6. Как получить на экране осциллографа простейшую фигуру Лиссажу?

7. Как с помощью полученной в опыте фигуры Лиссажу определить амплитуды каждого из двух складываемых взаимно перпендикулярных гармонических колебаний?

8. Как с помощью полученной в опыте простейшей фигуры Лиссажу определить разность фаз складываемых взаимно перпендикулярных гармонических колебаний одинаковой частоты?

9. Как с помощью полученной в опыте фигуры Лиссажу определить отношение частот складываемых взаимно перпендикулярных гармонических колебаний?

10. Как в опыте получить биения? Какое условие при этом должно выполняться для частот двух складываемых одинаково направленных гармонических колебаний?

11. Как по изображению на экране осциллографа определить период и частоту биений?

Третий уровень

1. С помощью метода векторных диаграмм сложите два одинаково направленных гармонических колебания с одинаковой частотой и получите условие, при котором амплитуда суммарного колебания: а) максимальна; б) минимальна.

2. Докажите, что, измерив амплитуды двух складываемых одинаково направленных гармонических колебаний с одинаковой частотой и амплитуду суммарного колебания, можно определить разность фаз складываемых колебаний.

3. Докажите, что при сложении двух взаимно перпендикулярных гармонических колебаний одинаковой частоты траектория результирующего движения колеблющейся точки имеет форму эллипса.

4. Получите условия, при которых траектория точки, совершающей два взаимно перпендикулярных гармонических колебания, имеет вид а) прямолинейного отрезка; б) окружности.

5. Докажите, что, измерив на экране осциллографа параметры эллипса, полученного при сложении двух взаимно перпендикулярных гармонических колебаний, можно определить разность фаз складываемых колебаний. Получите связь между параметрами эллипса и разностью фаз.

6. Получите уравнение биений. Используя полученное уравнение, запишите зависимость амплитуды колебаний при биениях от времени. Получите выражение частоты биений через частоты складываемых колебаний.

Виртуальная лабораторная работа № 21В

СЛОЖЕНИЕ ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

Первый уровень

1. Что такое гармоническое колебание и каким выражением оно описывается?

2. Что такое амплитуда гармонического колебания? В каких единицах она измеряется?

3. Что такое фаза и начальная фаза гармонического колебания? В каких единицах они измеряются?

4. Что такое циклическая частота гармонического колебания? В каких единицах она измеряется?

5. Что такое частота гармонического колебания? В каких единицах она измеряется?

6. Что такое период гармонического колебания? В каких единицах он измеряется?

7. Как связаны между собой циклическая частота, частота и период?

8. Что является результатом сложения одинаково направленных гармонических колебаний одинаковых и разных частот?

9. Чему равна амплитуда колебания, которое является результатом сложения двух одинаково направленных гармонических колебаний одинаковых частот?

10. Чему равна начальная фаза колебания, которое является результатом сложения двух одинаково направленных гармонических колебаний одинаковых частот?

11. Что является результатом сложения двух одинаково направленных гармонических колебаний с близкими частотами? Каким выражением описывается результирующий процесс?

12. Что такое биения? Как рассчитываются частота и период биений?

13. Что является результатом сложения двух взаимно перпендикулярных гармонических колебаний одинаковых и разных частот? Какую

форму может иметь фигура Лиссажу при сложении колебаний с одинаковыми частотами?

Второй уровень

1. Как в данной лабораторной работе измеряется амплитуда гармонического колебания? По какой формуле рассчитывается амплитуда колебания, полученного путем сложения двух одинаково направленных колебаний одной частоты? В каком случае она будет максимальна и в каком – минимальна?

2. Как в данной лабораторной работе измеряется период гармонического колебания? По какой формуле рассчитывается период колебаний идеального пружинного маятника и от чего он зависит?

3. Как в данной лабораторной работе измеряется период биения? От чего он зависит? Почему циклическая частота биений равна разности циклических частот складываемых колебаний, а не половине разности этих частот?

4. Фигура Лиссажу, полученная в результате сложения двух взаимно перпендикулярных колебаний одной частоты, может иметь различную форму. От чего она зависит? Ответ обоснуйте.

Третий уровень

1. Получите выражение для расчета амплитуды колебания, являющегося результатом сложения двух одинаково направленных колебаний одинаковых частот. Покажите, от чего зависит амплитуда результирующего колебания.

2. Получите выражение для расчета начальной фазы колебания, являющегося результатом сложения двух одинаково направленных колебаний одинаковых частот. Покажите, от чего зависит начальная фаза результирующего колебания.

3. Получите выражение, описывающее биения. Постройте график биения. Покажите, как влияет значение разности частот складываемых колебаний на график биения.

4. Получите выражение, описывающее форму фигуры Лиссажу при одинаковых частотах складываемых колебаний. Покажите, как изменяется ее форма при изменении амплитуд складываемых колебаний и при изменении разности фаз складываемых колебаний.

5. Какую форму могут иметь фигуры Лиссажу при сложении колебаний с разными частотами? Объясните, как по фигуре Лиссажу определить соотношение частот складываемых колебаний.

Виртуальная лабораторная работа № 22В

СОБСТВЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ПРУЖИННОГО МАЯТНИКА

Первый уровень

1. Что такое идеальный пружинный маятник? Каков характер его свободных колебаний?

2. Чему равны циклическая частота и период колебаний идеального пружинного маятника?

3. Как зависит период колебаний идеального пружинного маятника от коэффициента жесткости пружины?

4. Как зависит период колебаний идеального пружинного маятника от массы груза?

5. Чему равна разность фаз колебаний смещения, скорости и ускорения пружинного маятника? От чего зависят амплитуды смещения, скорости и ускорения идеального пружинного маятника?

6. По какой формуле можно рассчитать максимальную кинетическую энергию идеального пружинного маятника?

7. Как зависит от времени мгновенное значение кинетической энергии идеального пружинного маятника? Чему равен период ее колебаний?

8. Чему равна максимальная потенциальная энергия идеального пружинного маятника?

9. Как зависит от времени мгновенное значение потенциальной энергии идеального пружинного маятника? Чему равен период ее колебаний?

10. Чему равна разность фаз колебаний кинетической и потенциальной энергий? Как зависит от времени их сумма (т. е. полная механическая энергия идеального пружинного маятника)?

Второй уровень

1. Как в данной лабораторной работе измеряется период гармонического колебания? Получите формулу для расчета периода колебаний идеального пружинного маятника. Поясните, от чего он зависит.

2. Получите выражения для расчета скорости v и ускорения a пружинного маятника. Постройте графики зависимости координаты грузика маятника x, а также его скорости ускорения и a от времени. Сравните начальные фазы колебаний смещения маятника ускорения, его скорости и ускорения.

Объясните, как соотносятся значения этих величин в разные моменты времени.

3. Как зависят от времени кинетическая и потенциальная энергии идеального пружинного маятника? Как соотносятся по фазе колебания этих величин? Объясните механизм перехода кинетической энергии в потенциальную и механизм обратного перехода.

Третий уровень

1. Составьте дифференциальное уравнение, описывающее идеальный пружинный маятник. Решите его и проанализируйте результат решения дифференциального уравнения.

2. Получите выражения для расчета кинетической, потенциальной и полной механической энергии идеального пружинного маятника. Проанализируйте полученные выражения.

Лабораторная работа № 23

СВОБОДНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ

Первый уровень

1. Чем исследуемый в данной лабораторной работе осциллятор отличается от идеального осциллятора?

2. Почему собственные колебания реального осциллятора являются затухающими? Приведите конкретные примеры таких осцилляторов.

3. По какому закону уменьшается амплитуда собственных колебаний рассматриваемых в работе осцилляторов?

4. Запишите дифференциальное уравнение, описывающее рассматриваемый осциллятор. Назовите величины, входящие в это выражение.

5. Чему равен коэффициент затухания пружинного маятника с потерями энергии? Назовите величины, входящие в это выражение.

6. Чему равен коэффициент затухания колебательного контура с потерями энергии? Назовите величины, входящие в это выражение.

7. Чему равна собственная циклическая частота ω_0 идеального пружинного маятника? Назовите величины, входящие в это выражение.

8. Чему равна собственная циклическая частота ω_0 идеального колебательного контура? Назовите величины, входящие в это выражение.

9. Запишите уравнение (результат решения дифференциального уравнения для реального осциллятора), описывающее колебания рассматриваемого осциллятора. Назовите величины, входящие в это выражение.

10. Что в уравнении из п. 9 указывает на то, что колебания рассматриваемого осциллятора являются затухающими? Запишите выражение, описывающее зависимость амплитуды затухающих колебаний от времени.

11. Чему равна циклическая частота затухающих колебаний? Назовите величины, входящие в выражение для расчета циклической частоты затухающих колебаний.

12. Каков физический смысл коэффициента затухания? Запишите выражение, раскрывающее его физический смысл. Назовите величины, входящие в это выражение.

13. Что такое время релаксации τ?

14. Что такое логарифмический декремент затухания и чему он равен? Назовите величины, входящие в определение логарифмического декремента затухания.

15. Каков физический смысл логарифмического декремента затухания? Запишите выражение, раскрывающее его физический смысл. Назовите величины, входящие в это выражение.

16. Как логарифмический декремент затухания связан с коэффициентом затухания? Запишите выражение, описывающее эту связь.

17. Что такое критическое затухание? При каком условии оно возникает?

18. Что такое добротность осциллятора? Как добротность связана с коэффициентом затухания и логарифмическим декрементом затухания?

19. Запишите выражение, описывающее зависимость энергии осциллятора от времени. Назовите величины, входящие в это выражение.

20. Запишите выражение, описывающее зависимость энергии в колебательном контуре от времени. Назовите величины, входящие в это выражение.

21. Почему в задании к лабораторной работе № 23 график теоретической зависимости периода колебаний T от электрической емкости C предлагается строить в координатах $T, \sqrt{C}$?

Второй уровень

1. Покажите, что экспериментальные точки графика зависимости T от $\sqrt{C}$ должны лежать выше теоретических, если точность эксперимента достаточно высока.

2. Почему при нулевом значении сопротивления резистора, включенного в колебательный контур, затухающий характер колебаний сохраняется?

3. Как по картине затухающих колебаний, наблюдаемой на экране осциллографа, определить логарифмический декремент затухания λ?

4. Почему график зависимости логарифмического декремента затухания λ от сопротивления резистора R, включенного в колебательный контур, при $R = 0$ не проходит через начало координат?

5. Каким способом в лабораторной работе предлагается найти активное суммарное сопротивление катушки индуктивности и генератора импульсов, включенных в схему колебательного контура? Где найденное суммарное сопротивление используется в дальнейшем?

6. Как в лабораторной работе определяется критическое активное сопротивление колебательного контура?

7. Каково назначение генератора импульсов в цепи колебательного контура?

Третий уровень

1. Получите дифференциальное уравнение колебаний заряда на обкладках конденсатора колебательного контура, если активное сопротивление контура отлично от нуля.

2. Запишите решение дифференциального уравнения затухающих колебаний заряда на обкладках конденсатора колебательного контура, если выполняется условие $\delta < \omega_0$. Здесь δ – коэффициент затухания, ω_0 – циклическая частота свободных незатухающих колебаний. Подставив записанное вами решение в дифференциальное уравнение затухающих колебаний, докажите, что уравнение превращается в тождество.

3. Решите дифференциальное уравнение колебаний заряда на обкладках конденсатора колебательного контура, если активное сопротивление контура отлично от нуля при условии $\delta < \omega_0$. Здесь δ – коэффициент затухания, ω_0 – циклическая частота свободных незатухающих колебаний.

4. Запишите решение дифференциального уравнения затухающих колебаний заряда на обкладках конденсатора колебательного контура, если выполняется условие $\delta \geq \omega_0$. Здесь δ – коэффициент затухания, ω_0 – циклическая частота свободных незатухающих колебаний. Подставив записанное вами решение в дифференциальное уравнение затухающих колебаний, докажите, что уравнение превращается в тождество.

5. Решите дифференциальное уравнение колебаний заряда на обкладках конденсатора колебательного контура, если активное сопротивление контура отлично от нуля при условии $\delta \geq \omega_0$. Здесь δ – коэффициент затухания, ω_0 – циклическая частота свободных незатухающих колебаний.

6. Докажите, что если заряд на обкладках конденсатора колебательного контура совершает затухающие колебания, то напряжение на конденсаторе и сила тока в цепи также совершают затухающие колебания. Получите соответствующие формулы.

7. Получите связь между логарифмическим декрементом затухания λ и коэффициентом затухания δ. Получите связь λ с параметрами колебательного контура R, L, C.

8. Получите связь критического сопротивления $R_{\text{кр}}$ с параметрами контура L и C.

9. Получите связь добротности Q с коэффициентом затухания δ, логарифмическим декрементом затухания λ и с параметрами колебательного контура R, L, C.

Лабораторная работа № 25

ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ КОЛЕБАТЕЛЬНОМ КОНТУРЕ

Первый уровень

1. Какие колебания называются вынужденными? Какие еще бывают колебания?

2. Что такое время установления вынужденных колебаний? Как называются вынужденные колебания, происходящие после того, как время установления истекло?

3. Почему вынужденные установившиеся колебания в контуре не затухают с течением времени, несмотря на то что активное сопротивление контура больше нуля?

4. С какой частотой происходят вынужденные установившиеся колебания? Зависит ли эта частота от параметров контура R, L, C?

5. От чего зависит амплитуда вынужденных установившихся колебаний напряжения на конденсаторе контура? Как, не изменяя параметры контура R, L, C, можно изменять амплитуду?

6. Что такое резонанс? Чему равна резонансная частота колебаний напряжения на обкладках конденсатора, резонансная амплитуда этих колебаний?

7. Какой график называется резонансной кривой? Как определяются высота и ширина резонансного пика?

8. Какой характеристикой колебательного контура определяются высота и ширина резонансного пика?

9. Что такое импеданс колебательного контура? Запишите закон Ома для переменного тока, используя понятие импеданса.

10. Что такое активное и реактивное сопротивления колебательного контура?

11. Чему равна разность фаз колебаний тока и колебаний напряжения на активном сопротивлении контура?

12. Чему равна разность фаз колебаний тока и колебаний напряжения на электрической емкости контура?

13. Чему равна разность фаз колебаний тока и колебаний напряжения на индуктивности контура?

14. При каком условии наблюдается резонанс тока в контуре? Чему равна при этом резонансная частота?

Второй уровень

1. Что такое амплитудно-частотная характеристика контура? С помощью какого прибора ее получают в опытах? Каков принцип его действия?

2. Что такое фазочастотная характеристика (ФЧХ) контура? С помощью какого прибора ее получают в опытах?

3. Какова роль звукового генератора, включенного в схему колебательного контура? Как измеряются параметры сигнала, подающегося с этого устройства?

4. Как в опыте определяется резонансная частота вынужденных установившихся колебаний напряжения на конденсаторе?

5. Если сравнить теоретическое значение резонансной частоты колебаний напряжения на обкладках конденсатора, вычисленное без учета активного сопротивления колебательного контура, с экспериментально полученным значением этой частоты, то какая из них окажется больше при достаточно высокой точности измерений?

6. Каким способом определяется разность фаз между колебаниями ЭДС звукового генератора и колебаниями напряжения на конденсаторе контура?

7. Как в опыте определяется добротность колебательного контура?

8. Как экспериментально получают амплитудно-частотную характеристику контура? Чем отличаются эти графики, если один снят при нулевом сопротивлении резистора, включенного в контур, а второй – при сопротивлении, отличном от нуля?

9. Как экспериментально получают фазочастотную характеристику для напряжения на конденсаторе контура? Какой вид она имеет?

Третий уровень

1. Получите дифференциальное уравнение вынужденных колебаний заряда на обкладках конденсатора последовательного колебательного контура при гармоническом законе изменения ЭДС генератора.

2. Получите дифференциальное уравнение вынужденных колебаний напряжения на обкладках конденсатора последовательного колебательного контура при гармоническом законе изменения ЭДС генератора.

3. Получите общее решение дифференциального уравнения вынужденных колебаний напряжения на обкладках конденсатора последовательного колебательного контура при гармоническом законе изменения ЭДС генератора. Какая часть общего решения изменяется, если сравнить случаи: а) $\delta < \omega_0$; б) $\delta \geq \omega_0$. Здесь δ – коэффициент затухания, ω_0 – циклическая частота свободных незатухающих колебаний в контуре.

4. Получите частное решение дифференциального уравнения вынужденных колебаний напряжения на обкладках конденсатора последовательного колебательного контура при гармоническом законе изменения ЭДС генератора. Поясните, когда это решение можно считать совпадающим с общим.

5. Получите выражение для резонансной частоты колебаний напряжения на обкладках конденсатора.

6. Получите выражение для резонансной амплитуды колебаний напряжения на обкладках конденсатора.

7. Докажите, что добротность колебательного контура при $\delta << \omega_0$ является величиной, обратной относительной ширине резонансного пика. Здесь δ – коэффициент затухания, ω_0 – циклическая частота свободных незатухающих колебаний в контуре.

8. Докажите, что добротность колебательного контура при $\delta << \omega_0$ равна относительной высоте резонансного пика. Здесь δ – коэффициент затухания, ω_0 – циклическая частота свободных незатухающих колебаний в контуре.

9. Получите закон Ома для замкнутой последовательной RLC-цепи переменного тока.

10. Найдите, чему равна разность фаз вынужденных установившихся колебаний силы тока и напряжения на активном сопротивлении, электрической емкости и индуктивности.

Виртуальная лабораторная работа № 25В

ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПРУЖИННОГО МАЯТНИКА

Первый уровень

1. Что такое «вынужденные колебания»? Чему равна их частота?
2. Чему равна амплитуда смещения пружинного маятника при вынужденных колебаниях?
3. От чего зависит амплитуда смещения пружинного маятника?
4. Чему равна разность фаз колебаний смещения пружинного маятника и вынуждающей силы?
5. Что такое резонанс? На какой частоте наступает резонанс смещения пружинного маятника?
6. При каком условии резонанс становится невозможен?
7. Что такое добротность? Чему она равна?

Второй уровень

1. Как в данной лабораторной работе измеряется амплитуда вынужденных колебаний пружинного маятника? От чего она зависит? Ответ обоснуйте.
2. Как в данной лабораторной работе измеряется время установления вынужденных колебаний. Чем обусловлено его существование? От чего зависит длительность времени установления колебаний?
3. Как в данной лабораторной работе определяется добротность колебательной системы? От чего и как зависит значение добротности?

Третий уровень

1. Составьте дифференциальное уравнение, описывающее вынужденные колебания пружинного маятника, решите его и проанализируйте результат решения дифференциального уравнения.
2. Используя выражение для расчета амплитуды вынужденных колебаний пружинного маятника, опишите явление резонанса. Найдите частоту, на которой наступает резонанс смещения пружинного маятника.

Лабораторная работа № 26

СТОЯЧИЕ ВОЛНЫ НА СТРУНЕ

Первый уровень

1. Что такое волна? Что такое поперечная и что такое продольная волна? Приведите примеры продольных и поперечных волн.

2. Что такое волновой фронт и волновая поверхность? Что такое плоская волна, сферическая волна?

3. Что такое амплитуда волны? Что такое период и частота волны?

4. Что такое длина волны и волновое число? Нарисуйте для гармонической поперечной механической волны график зависимости смещения от координаты в некоторый момент времени, покажите амплитуду и длину волны.

5. Запишите уравнение плоской гармонической бегущей волны, дайте определения всем величинам, входящим в это уравнение.

6. Что такое фазовая скорость волны? Что именно движется с этой скоростью? Как, зная частоту и длину волны, определить фазовую скорость?

7. От чего зависит фазовая скорость волны, бегущей по струне?

8. Может ли фазовая скорость волны превышать скорость света в вакууме?

9. Что такое модулированная волна? Назовите возможные виды модуляции.

10. Что такое групповая скорость волны? Как, зная зависимость циклической частоты волны от волнового числа, определить групповую скорость?

11. В каком случае групповая скорость равна фазовой скорости волны?

12. Что такое нормальная и аномальная дисперсия? Изобразите соответствующие дисперсионные кривые.

13. Что такое интерференция волн? Какие условия необходимо создать, чтобы возникла стоячая волна?

14. Что такое узлы и пучности стоячей волны?

15. Запишите уравнение стоячей волны.

16. Запишите выражение для амплитуды стоячей волны.

17. Что такое гармоники? Что такое номер гармоники? Изобразите стоячие волны, соответствующие первым трем гармоникам для струны с закрепленными концами.

18. Переносится ли энергия стоячей волной?

Второй уровень

1. Объясните, каким способом в опыте получают стоячую волну на струне с закрепленными концами, соответствующую гармонике с заданным номером n. Почему с течением времени колебания струны не затухают?

2. Какую роль играет груз массой *M*, прикрепленный к концу струны? Что изменяется при увеличении *M*?

3. В каких точках стоячей волны на струне амплитуда колебаний а) максимальна; б) минимальна? Как называются эти точки стоячей волны?

4. В каких точках стоячей волны на струне скорость колебательного движения а) максимальна; б) минимальна? Чему равны эти скорости?

5. При каких условиях график зависимости частоты гармоники от ее номера имеет линейный характер?

6. Почему график, характеризующий зависимость частоты гармоники с заданным номером n от массы груза, прикрепленного к концу струны, предлагается построить в координатах ν_n, $\sqrt{M}$?

Третий уровень

1. Запишите дифференциальное волновое уравнение плоской волны, распространяющейся вдоль оси x. Дайте определения всем величинам, входящим в это уравнение.

2. Запишите решения дифференциального уравнения плоской волны, распространяющейся вдоль оси x, если а) волна распространяется в сторону возрастания координаты; б) волна распространяется в сторону убывания координаты.

3. Получите уравнение стоячей волны на струне в общем виде, а также для следующих граничных условий: а) оба конца струны жестко закреплены, б) один из концов струны закреплен, а второй свободен.

4. Получите выражение для амплитуды стоячей волны, которая создана на струне с закрепленными концами. Используя полученное выражение, определите координаты узлов и пучностей стоячей волны.

5. Докажите, что длины и частоты волн, при суперпозиции которых образуется стоячая волна, могут иметь только дискретный набор значений. Получите выражения для этих длин волн и частот.

6. Получите выражение для фазовой скорости волны, бегущей по струне.

7. Получите зависимость скорости колебательного движения точки струны с закрепленными концами от координаты точки и от времени. Найдите координаты точек, скорость которых максимальна. Чему равна эта скорость? Изобразите струну в тот момент времени, когда эта скорость достигается.

8. Получите рабочую формулу для определения линейной плотности струны.

Виртуальная лабораторная работа № 26В

ПОПЕРЕЧНЫЕ ВОЛНЫ НА НЕПРЕРЫВНОЙ СТРУНЕ

Первый уровень

1. Что называется волной? Приведите примеры. Какие условия требуются для возникновения волн?
2. Какие волны называются поперечными, а какие – продольными?
3. Что представляют собой звуковые волны?
4. Что представляют собой электромагнитные волны?
5. Какие волны называются гармоническими? Запишите уравнение бегущей гармонической волны. Дайте определения характеристикам волны, входящим в уравнение.
6. Запишите уравнение бегущей гармонической волны в комплексной форме. Дайте определения характеристикам волны, входящим в уравнение.
7. Что такое длина волны? Как она связана с фазовой скоростью?
8. Что такое волновое число? Как волновое число связано с длиной волны?
9. Что такое фазовая скорость волны? Как она находится?
10. Запишите одномерное волновое уравнение. Что описывает это уравнение?
11. Что такое дисперсия волн?
12. Что такое волновой пакет?
13. Что такое групповая скорость волн? Как она находится?
14. Чем определяется циклическая частота гармонической волны, распространяющейся по непрерывной однородной струне?
15. Чем определяется амплитуда гармонической волны, распространяющейся по непрерывной однородной струне?

16. Что такое импеданс или волновое сопротивление струны? От чего он зависит в случае непрерывной однородной струны?

Второй уровень

1. Строго говоря, гармонических волн не существует. Почему? Если гармонических волн не существует, то для чего используется такое представление?

2. От чего зависит фазовая скорость поперечных гармонических волн на непрерывной однородной струне? Как ее можно определить в данной лабораторной работе?

3. От чего зависит импеданс непрерывной однородной струны? Как его можно определить в данной лабораторной работе?

4. Как рассчитать амплитуду гармонической волны, распространяющейся по струне? Как можно определить амплитуду волны в данной лабораторной работе?

5. Есть ли дисперсия у поперечных гармонических волн на непрерывной однородной струне? Ответ обосновать. Как можно обнаружить отсутствие дисперсии волн на струне в данной лабораторной работе?

6. Как связаны между собой фазовая и групповая скорости поперечных волн на непрерывной однородной струне? Ответ обосновать.

7. Меняет ли форму волновой пакет при распространении по непрерывной однородной струне? Ответ обосновать.

Третий уровень

1. Получите волновое уравнение для поперечных волн на непрерывной однородной струне. Найдите выражение для фазовой скорости этих волн.

2. На примере одномерного волнового уравнения покажите, что уравнение бегущей гармонической волны является его решением.

3. Получите формулу для импеданса непрерывной однородной струны. Полученную формулу проанализируйте.

4. Получите формулу для групповой скорости поперечных волн на непрерывной однородной струне. Полученную формулу проанализируйте.

Виртуальная лабораторная работа № 27В

ПОПЕРЕЧНЫЕ ВОЛНЫ НА ДИСКРЕТНОЙ СТРУНЕ

Первый уровень

1. Запишите дифференциально-разностное уравнение для поперечных волн на дискретной струне. В чем заключается смысл этого уравнения?

2. Чем определяется циклическая частота гармонической волны, распространяющейся по дискретной струне?

3. Чем определяется амплитуда гармонической волны, распространяющейся по дискретной струне?

4. Что такое импеданс или волновое сопротивление струны? От чего он зависит в случае дискретной струны?

Второй уровень

1. От чего зависит фазовая скорость поперечных гармонических волн на дискретной струне? Запишите формулу для расчета фазовой скорости и проанализируйте ее. Как можно измерить фазовую скорость волн в данной лабораторной работе?

2. От чего зависит групповая скорость поперечных волн на дискретной струне? Запишите формулу для расчета групповой скорости и проанализируйте ее.

3. От чего зависит импеданс дискретной струны? Запишите формулу и проанализируйте ее. Как можно определить импеданс в данной лабораторной работе?

4. Как рассчитать амплитуду гармонической волны, распространяющейся по дискретной струне? Как можно определить амплитуду гармонической волны в данной лабораторной работе?

5. Есть ли дисперсия у поперечных гармонических волн на дискретной струне? Ответ обосновать. Как можно обнаружить наличие дисперсии волн в данной лабораторной работе?

6. Совпадают ли фазовая и групповая скорости поперечных волн на дискретной струне? Ответ обосновать.

7. Меняет ли форму волновой пакет при его распространении по дискретной струне? Ответ обосновать.

8. При каких значениях длины волны и частоты колебаний существенную роль играет дисперсия волн на дискретной струне? Ответ обосновать.

9. При каких значениях длины волны и частоты колебаний дисперсией волн на дискретной струне можно пренебречь? Ответ обосновать.

10. Чему равна минимальная длина волны у поперечных гармонических волн на дискретной струне? Ответ обосновать.

11. Чему равна максимальная циклическая частота колебаний у поперечных гармонических волн на дискретной струне? Ответ обосновать.

12. Чему равно максимальное значение фазовой скорости гармонических волн на дискретной струне?

Третий уровень

1. Получите дифференциально-разностное уравнение для поперечных волн на дискретной струне.

2. Получите дисперсионное уравнение для поперечных гармонических волн на дискретной струне. Проанализируйте полученное уравнение.

3. Используя дисперсионное уравнение, получите формулу для фазовой скорости поперечных гармонических волн на дискретной струне. Проанализируйте полученную формулу. Постройте график зависимости фазовой скорости от волнового числа.

4. Используя дисперсионное уравнение, получите формулу для групповой скорости поперечных волн на дискретной струне. Проанализируйте полученную формулу. Постройте график зависимости групповой скорости от волнового числа.

5. Найдите зависимость импеданса дискретной струны от волнового числа. Проанализируйте полученную зависимость.

Лабораторная работа № 27

ИЗУЧЕНИЕ СЛОЖЕНИЯ СИНХРОННЫХ ОДНОНАПРАВЛЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ (изучение линейных цепей переменного тока)

Первый уровень

1. Что такое колебания? Что такое гармонические колебания? Запишите формулу для гармонических колебаний напряжения U.

2. Почему гармонические колебания играют особую роль в теории колебаний?

3. Что такое амплитуда, период, частота, циклическая частота, фаза, начальная фаза колебаний?

4. Изобразите график зависимости напряжения U от времени t при гармонических колебаниях. Покажите, как изменится график, если увеличить амплитуду колебаний.

5. Изобразите график зависимости напряжения U от времени t при гармонических колебаниях. Покажите, как изменится график, если увеличить период колебаний.

6. Изобразите график зависимости напряжения U от времени t при гармонических колебаниях. Покажите, как изменится график, если увеличить частоту колебаний.

7. Изобразите график зависимости напряжения U от времени t при гармонических колебаниях. Покажите, как изменится график, если начальная фаза колебаний увеличится на π радиан.

8. Как сложить одинаково направленные гармонические колебания методом векторных диаграмм?

9. Запишите выражение для амплитуды результирующих колебаний, полученных при сложении двух одинаково направленных гармонических колебаний с одинаковой частотой.

10. Запишите выражение для начальной фазы результирующих колебаний, полученных при сложении двух одинаково направленных гармонических колебаний с одинаковой частотой.

11. Чему равна разность фаз колебаний тока и колебаний напряжения на активном сопротивлении?

12. Чему равна разность фаз колебаний тока и колебаний напряжения на электрической емкости?

13. Чему равна разность фаз колебаний тока и колебаний напряжения на индуктивности?

14. Как, зная амплитуды колебаний переменного напряжения отдельно на активном сопротивлении и индуктивности, найти амплитуду колебаний на последовательной *RL*-цепи?

15. Как, зная амплитуды колебаний переменного напряжения отдельно на активном сопротивлении и емкости, найти амплитуду колебаний на последовательной *RC*-цепи?

Второй уровень

1. Каким методом в лабораторной работе измеряются амплитуды переменных напряжений на активном и реактивном сопротивлениях и на последовательных *RC*- и *RL*-цепях?

2. Как в опыте определяется сдвиг фаз между колебаниями напряжения на активном сопротивлении и на последовательной *RC*-цепи? Как затем определить сдвиг фаз между колебаниями напряжения на активном сопротивлении и на емкости?

3. Как определяется сдвиг фаз между колебаниями напряжения на индуктивном сопротивлении и на последовательной *RL*-цепи? Как затем определить сдвиг фаз между колебаниями напряжения на активном сопротивлении и на индуктивности?

4. Что такое коэффициент передачи напряжения K? Как он определяется в опыте? Как он зависит от частоты? Рассмотрите *RC*- или *RL*-цепь.

5. Как зависит от частоты сдвиг фаз между колебаниями напряжения на одном из элементов цепи и на концах этой цепи? Рассмотрите *RC*- или *RL* -цепь.

Третий уровень

1. С помощью метода векторных диаграмм сложите два одинаково направленных гармонических колебания и получите условие, при котором амплитуда суммарного колебания а) максимальна; б) минимальна.

2. С помощью метода векторных диаграмм сложите два одинаково направленных гармонических колебания и получите формулу для амплитуды начальной фазы суммарного колебания.

3. Получите формулу для индуктивного сопротивления. Как оно изменяется с ростом частоты?

4. Получите формулу для емкостного сопротивления. Как оно изменяется с ростом частоты?

5. Найдите, чему равна разность фаз вынужденных установившихся колебаний силы тока и напряжения на активном сопротивлении, электрической емкости и на индуктивности.

6. Получите зависимость амплитуды колебаний напряжения на концах последовательной RL-цепи от частоты.

7. Получите зависимость коэффициента передачи напряжения K от частоты для RL-цепи, считая, что в качестве сопротивления Z_2 используется реактивное сопротивление катушки индуктивности.

8. Получите зависимость разности фаз между колебаниями напряжения на индуктивности и на активном сопротивлении от частоты для RL-цепи.

9. Получите зависимость разности фаз между колебаниями напряжения на концах последовательной RL-цепи и колебаниями напряжения на индуктивности от частоты.

10. Получите зависимость разности фаз между колебаниями напряжения на емкости и на активном сопротивлении от частоты для RC-цепи.

11. Получите зависимость разности фаз между колебаниями напряжения на концах последовательной RC-цепи и колебаниями напряжения на емкости от частоты.

Виртуальная лабораторная работа № 28В

ПОПЕРЕЧНЫЕ СТОЯЧИЕ ВОЛНЫ НА НЕПРЕРЫВНОЙ СТРУНЕ

Первый уровень

1. Что такое стоячие волны? При каких условиях они возникают?

2. Что такое узлы и пучности стоячей волны? На каких расстояниях друг от друга они находятся?

3. При каком условии возможно существование поперечных стоячих волн на непрерывной однородной струне? Дайте объяснение этому условию.

4. Запишите уравнение стоячей волны. Проанализируйте это уравнение.

5. Что такое основной тон (основная гармоника) струны? Как при этом колеблются отдельные точки струны?

6. Что такое обертоны (высшие гармоники) струны? Как при этом колеблются отдельные точки струны?

7. Как связаны между собой частоты основной и высших гармоник для стоячих волн на непрерывной однородной струне?

Второй уровень

1. Чем объясняется существование узлов и пучностей стоячих волн?

2. Как соотносятся фазы прямой и обратной бегущих волн в узлах и пучностях стоячей волны?

3. Почему расстояние между соседними узлами или соседними пучностями стоячей волны составляет ровно половину длины волны?

4. Почему через узел стоячей волны нет переноса энергии?

5. Почему амплитуда колебаний точки струны в стоячей волне зависит от положения точки на струне?

6. От чего зависит частота звучания непрерывной однородной струны? Ответ обосновать.

Третий уровень

1. Получите уравнение поперечной стоячей волны на струне. Проанализируйте полученное уравнение.

2. Получите условие существования поперечных стоячих волн на непрерывной однородной струне. Объясните это условие.

3. Получите формулу для расчета частоты звучания непрерывной однородной струны. Проанализируйте полученную формулу.

4. Объясните, почему при увеличении силы натяжения струны частота звучания растет, а при увеличении линейной плотности струны она уменьшается.

Виртуальная лабораторная работа № 29В

ПОПЕРЕЧНЫЕ СТОЯЧИЕ ВОЛНЫ НА ДИСКРЕТНОЙ СТРУНЕ

Первый уровень

1. Что такое стоячие волны? При каких условиях они возникают?

2. Что такое узлы и пучности стоячей волны? На каких расстояниях друг от друга они находятся?

3. Запишите условие существования поперечных стоячих волн на дискретной струне. Дайте объяснение этому условию.

4. Запишите уравнение стоячей волны. Проанализируйте это уравнение.

5. Что такое основной тон (основная гармоника) дискретной струны? Как при этом колеблются отдельные грузы, распределенные по струне?

6. Что такое обертоны (высшие гармоники) дискретной струны? Как при этом колеблются отдельные грузы, распределенные по струне?

7. От чего зависит общее количество собственных колебаний дискретной струны (максимальный номер гармоники)? Ответ обосновать.

Второй уровень

1. Чем объясняется существование узлов и пучностей стоячих волн?

2. Как соотносятся фазы прямой и обратной бегущих волн в узлах и пучностях стоячей волны?

3. Почему расстояние между соседними узлами или соседними пучностями стоячей волны составляет ровно половину длины волны?

4. Почему через узел стоячей волны нет переноса энергии?

5. Почему при образовании стоячей волны некоторые грузы, находящиеся на струне, вообще не совершают колебаний?

6. Почему при образовании стоячей волны амплитуда колебаний грузов, распределенных по струне, зависит от их положения на струне?

7. От чего зависит частота колебаний грузов, распределенных по струне, при образовании стоячей волны на струне? Ответ обосновать.

Третий уровень

1. Получите уравнение поперечной стоячей волны на струне. Проанализируйте полученное уравнение.

2. Получите условие существования поперечных стоячих волн на дискретной струне. Объясните это условие.

3. Объясните, почему при увеличении силы натяжения струны частота звучания растет, а при увеличении массы грузов, распределенных по струне, она уменьшается.

4. Получите формулу для зависимости частоты собственных колебаний дискретной струны от номера гармоники. Проанализируйте полученную зависимость.

Виртуальная лабораторная работа № 30В

ПОПЕРЕЧНЫЕ ВОЛНЫ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА СТРУН

Первый уровень

1. Почему на границе раздела сред происходит отражение волн?
2. Напишите уравнения падающей и отраженной гармонических волн. Что у них общего и чем они отличаются друг от друга?
3. Что такое амплитудный коэффициент отражения и амплитудный коэффициент пропускания (прохождения) волн?
4. Что такое импеданс или волновое сопротивление среды?
5. Как ведут себя волны на границе раздела двух сред, если импедансы первой и второй сред одинаковые? Ответ обосновать.
6. Как ведут себя волны на границе раздела двух сред, если импеданс первой среды больше, чем импеданс второй среды? Ответ обосновать.
7. Как ведут себя волны на границе раздела двух сред, если импеданс первой среды меньше, чем импеданс второй среды? Ответ обосновать.
8. Как изменяется длина волны на границе раздела двух струн, если линейная плотность первой струны больше линейной плотности второй?
9. Как изменяется длина волны на границе раздела двух струн, если линейная плотность первой струны меньше линейной плотности второй?
10. Что представляет собой волновой процесс на первой струне, если есть отражение волны от границы раздела со второй струной?

Второй уровень

1. Что такое амплитудный коэффициент отражения волн? Как он связан с импедансами двух сред? Проанализируйте ситуации с разными соотношениями импедансов.

2. Что такое амплитудный коэффициент пропускания (прохождения) волн? Как он связан с импедансами двух сред? Проанализируйте ситуации с разными соотношениями импедансов.

3. Как в данной лабораторной работе можно определить амплитуды падающей, отраженной и прошедшей волн?

4. Как в данной лабораторной работе можно измерить отношение длин волн на первой и второй струнах? Как это отношение связано со значениями линейной плотности струн?

5. Как в данной лабораторной работе можно проверить результат сложения падающей и отраженной волн на первой струне? Чем определяется результат сложения?

Третий уровень

1. Получите формулу для амплитудного коэффициента отражения волн. Проанализируйте зависимость этого коэффициента от соотношения импедансов двух струн.

2. Получите формулу для амплитудного коэффициента пропускания (прохождения) волн. Проанализируйте зависимость этого коэффициента от соотношения импедансов двух струн.

3. Получите выражение для импеданса непрерывной однородной струны. Проанализируйте полученное выражение.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3
Виртуальная лабораторная работа № 20В. Собственные колебания связанных пружинных маятников 4
Лабораторная работа № 21. Изучение сложения колебаний 5
Виртуальная лабораторная работа № 21В. Сложение гармонических колебаний 8
Виртуальная лабораторная работа № 22В. Собственные колебания идеального пружинного маятника 10
Лабораторная работа № 23. Свободные электромагнитные колебания 12
Лабораторная работа № 25. Вынужденные колебания в последовательном колебательном контуре 16
Виртуальная лабораторная работа № 25В. Вынужденные колебания пружинного маятника 19
Лабораторная работа № 26. Стоячие волны на струне 20
Виртуальная лабораторная работа № 26В. Поперечные волны на непрерывной струне 23
Виртуальная лабораторная работа № 27В. Поперечные волны на дискретной струне 25
Лабораторная работа № 27. Изучение сложения синхронных однонаправленных колебаний (изучение линейных цепей переменного тока) 27
Виртуальная лабораторная работа № 28В. Поперечные стоячие волны на непрерывной струне 30
Виртуальная лабораторная работа № 29В. Поперечные стоячие волны на дискретной струне 32
Виртуальная лабораторная работа № 30В. Поперечные волны на границе раздела струн 34