

Вопросы для подготовки к экзамену 2008

Механические и электрические колебания

1. Уравнение свободного гармонического осциллятора и его решение. Энергия свободных колебаний.

Записать общее решение уравнения свободных гармонических колебаний $m\ddot{x} + w_0^2 x = 0$ для начальных условий $x(0)=x_0$, $v(0)=v_0$ и вычислить энергию этих колебаний.

2. Частица в потенциале, имеющем минимум. Уравнение для малых колебаний вблизи положения равновесия.

Определить период малых колебаний частицы в потенциале $U = \frac{a}{r^2} - \frac{b}{r}$, где постоянные $a, b > 0$, r - расстояние от центра поля. Нарисовать качественный график зависимости $U(r)$.

3. Вынужденные колебания гармонического осциллятора без затухания. Явление резонанса.

Записать общее решение уравнения вынужденных гармонических колебаний $m\ddot{x} + w_0^2 x = f_0 \cos wt$ для начальных условий $x(0)=x_0$, $v(0)=v_0$. Как амплитуда колебаний зависит от t когда частота возбуждения ω близка к резонансной частоте ω_0 ?

4. Свободные затухающие колебания. Декремент затухания и добротность. Зависимость от времени энергии затухающих колебаний. Определение добротности через изменение энергии затухающих колебаний.

Записать общее решение уравнения затухающих колебаний $m\ddot{x} + 2l\dot{x} + w_0^2 x = 0$ для начальных условий $x(0)=x_0$, $v(0)=v_0$. Получить выражение для зависимости полной механической энергии от времени. Покажите качественно на графике зависимость $x(t)$.

5. Вынужденные колебания осциллятора с затуханием. Полное решение уравнения вынужденных колебаний. Установившиеся колебания. Сигналы дисперсии и поглощения, их зависимость от частоты.

Записать общее решение уравнения вынужденных гармонических колебаний $m\ddot{x} + 2l\dot{x} + w_0^2 x = f_0 \cos wt$ для начальных условий $x(0)=x_0$, $v(0)=v_0$.

Записать установившееся решение уравнения вынужденных гармонических колебаний $m\ddot{x} + 2l\dot{x} + w_0^2 x = f_0 \cos wt$. Получить выражения для зависимости от частоты амплитуды колебаний $A(\omega)$ и поглощаемой мощности $P(\omega)$. Как по резонансным кривым определить собственную частоту осциллятора ω_0 , затухание λ и добротность Q ?

6. Колебания в электрических цепях. Основные элементы линейной электрической цепи. Колебания в последовательном резонансном контуре. Вывод уравнений для тока в контуре и напряжения на емкости. Зависимость амплитуды тока в контуре от частоты. Зависимость амплитуды напряжения на конденсаторе от частоты.

7. Колебания в электрических цепях. Основные элементы линейной электрической цепи. Колебания в параллельном резонансном контуре. Вывод уравнений для тока через индуктивность и емкость. Зависимость амплитуды тока через индуктивность от частоты. Зависимость амплитуды тока через емкость от частоты.

8. Колебания в системе с двумя степенями свободы. Определение нормальных частот и нормальных колебаний. Общее решение уравнений колебаний как суперпозиции нормальных колебаний. Нормальные координаты.

В качестве примера рассмотреть продольные колебания двух масс, связанных пружинами.

<http://ido.nstu.ru>→учебные материалы→учебные курсы→ФТФ→общая физика→экзаменационные материалы

9. Колебания в системе со многими степенями свободы. Линейная цепочка колеблющихся масс, связанных пружинами. Продольные колебания линейной цепочки. Частоты нормальных колебаний. Волновое число и длина волны. Закон дисперсии.

В качестве примера рассмотреть продольные колебания N масс, связанных пружинами.

Упругие волны

10. Волновое уравнение. Общий вид решения волнового уравнения. Бегущие и стоячие волны. Фазовая скорость и ее физический смысл.

Показать, что одномерное волновое уравнение имеет решение $f\left(t - \frac{z}{v}\right)$, где f - произвольная функция.

11. Энергетические соотношения для упругих волн. Связь изменения плотности энергии с плотностью потока энергии. Вектор Умова. Связь между плотностью потока энергии и плотностью энергии в бегущей волне. Плотность энергии и плотность потока энергии в стоячей волне.

12. Решение волнового уравнения методом разделения переменных. Волны на струне. Решение при различных граничных и начальных условиях. Разложение решения в ряд Фурье.

Записать общее решение волнового уравнения для колеблющейся струны. Найти из этого решения нормальные моды струны, закрепленной на обоих концах, свободной на обоих концах, закрепленной на одном конце и свободной на другом.

13. Звуковые волны. Амплитуда колебаний частицы и амплитуда скорости частицы, амплитуда деформации в бегущей звуковой волне. Давление в звуковой волне и его связь с интенсивностью волны. Плотность энергии и поток энергии в звуковой волне, и их связь с давлением звуковой волны.

14. Эффект Доплера для звуковых и световых волн.

Вывести формулы для эффекта Доплера при неподвижном наблюдателе и движущемся источнике; при движущемся наблюдателе и неподвижном источнике.

15. Волновой пакет как группа волн с близкими частотами. Связь между длительностью временного импульса и соответствующей ему частотной полосе. Групповая скорость как средняя скорость группы волн. Расплывание волнового пакета.

Вывести формулу Рэлея $u = v - l \frac{dv}{dl}$, где v - фазовая скорость, u -групповая скорость.

Электромагнитные волны. Дипольное излучение

16. Волновое решение уравнений Максвелла. Выражение скорости эл. магн. волны через электрическую и магнитную постоянные. Связь между амплитудами E и B в электромагнитной волне. Направление распространения электромагнитной волны. Связь векторов E и B с волновым вектором k . Бегущие и стоячие электромагнитные волны. Волновое уравнение для электрического и магнитного полей.

Показать, что плоская бегущая электромагнитная волна является решением уравнений Максвелла для векторов E и B в вакууме.

Вывести волновое уравнение для электрического и магнитного полей из уравнений Максвелла для векторов E и B в вакууме. Запишите известные вам решения этих уравнений.

Получить из уравнений Максвелла связь между векторами E , B и E , B , k в плоской электромагнитной волне?

17. Плотность энергии и поток энергии в электромагнитной волне. Интенсивность. Вектор Пойнтинга. Связь вектора Пойнтинга с волновым вектором \mathbf{k} . Связь вектора Пойнтинга с плотностью энергии в бегущей электромагнитной волне.

Определение электрической и магнитной компоненты в эл. магн. волне по величине вектора Пойнтинга.

Показать, что тепловая энергия, выделяющаяся в проводнике при протекании по нему постоянного тока равна потоку вектора Пойнтинга через его поверхность.

18. Давление света. Объяснение давления света с волновой точки зрения. Связь импульса, полученного телом с поглощенной энергией. Связь импульса, полученного телом с характеристиками падающего излучения: его плотностью энергии и интенсивностью. Плотность импульса излучения. Выражение давления света, через плотность импульса, полученного стенкой. Коэффициенты отражения, поглощения и прохождения. Законы сохранения энергии и импульса при расчете светового давления.

А. На полупрозрачную поверхность падают по нормали лучи света. Коэффициент отражения ρ . Амплитуда электрической компоненты в волне E_0 . Найти: а) импульс переданный стенке; б) нормальное давление света на стенку.

В. На полупрозрачную поверхность падают лучи света под углом θ . Коэффициент отражения ρ . Амплитуда электрической компоненты в волне E_0 . Найти: а) импульс переданный стенке; б) нормальное давление света на стенку.

19. Дипольное излучение как эффект ускоренного движения зарядов. Поле излучения заряда, осциллирующего вдоль прямой с постоянной частотой и амплитудой- картинка. Поле излучения заряда, движущегося по окружности с постоянной скоростью- картинка.

А. Излучение ускоренно движущегося заряда определяется следующим выражением

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \frac{m_0 e}{4\pi R(t')} \left(\frac{\mathbf{r} \times \mathbf{n} \times \frac{d\mathbf{v}}{dt} \right). \text{ Поясните, что в этой формуле означают величины } \mathbf{n}, R, t'. \text{ Как из этой}$$

формулы получить $\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = -\frac{m_0 e}{4\pi R(t')} \mathbf{a}_\perp$? Что означает здесь вектор \mathbf{a}_\perp ? Получить из последней

формулы выражение для вектора Пойнтинга и для полной энергии излучения.

В. Заряд e равномерно движется по окружности радиуса R с частотой ω . Окружность расположена в плоскости x, y , так что ось z проходит через центр окружности. Запишите выражение для электрической компоненты поля излучения в произвольной точке пространства. Как будет направлен вектор \mathbf{E} на оси z ? На оси x ? На оси y ?

С. На заряд e , расположенный в начале координат вдоль оси x падает поляризованная по оси y электромагнитная волна $E_y \cos \omega t$. Заряд может колебаться только вдоль оси y . Запишите выражение для электрической компоненты поля излучения в произвольной точке плоскости x, z . Как будет направлен вектор \mathbf{E} на оси z ? На оси x ? На оси y ? Колебания заряда вдоль оси y считать свободными.

Д. На свободный заряд e , расположенный в начале координат, вдоль оси x падает неполяризованный свет. Опишите качественно, как меняется интенсивность излучения заряда при перемещении точки наблюдения по окружности в плоскости x, y .

Е. На заряд e , расположенный в начале координат вдоль оси x падает поляризованная по оси y электромагнитная волна $E_y \cos \omega t$. Заряд может колебаться без затухания только вдоль оси y с собственной частотой ω_0 . Запишите выражение для электрической компоненты поля излучения в произвольной точке плоскости x, z . Как будет направлен вектор \mathbf{E} на оси z ? На оси x ? На оси y ? Зависит ли результат от соотношения между ω и ω_0 ?

20. Поток энергии поля дипольного излучения. Вектор Пойнтинга. Мощность дипольного излучения точечного источника (усреднение вектора Пойнтинга по углам). Мощность дипольного излучения гармонического диполя и дипольного ротатора. Диаграмма направленности гармонического диполя и дипольного ротатора. Радиационное затухание- потеря энергии электроном, движущимся по окружности (пример расчета).

А. Получите из формулы $\vec{E}(\vec{r}, t) = \frac{m_0 e}{4\pi R(t')} \left(\vec{n} \times \vec{n} \times \frac{d\vec{v}}{dt} \right)$ выражение для интенсивности дипольного

излучения $I = \frac{2 \langle \dot{\vec{d}}^2(t') \rangle}{3(4\pi\epsilon_0)c^3}$, где \vec{d} - вектор дипольного момента, угловые скобки означают усреднение по периоду колебаний.

В. Получите из формулы $\vec{E}(\vec{r}, t) = \frac{m_0 e}{4\pi R(t')} \left(\vec{n} \times \vec{n} \times \frac{d\vec{v}}{dt} \right)$ выражение для интенсивности дипольного

излучения в направлении угла θ : $I = \frac{d^2 w^4}{8\pi(4\pi\epsilon_0)R^2 c^3} \sin^2 \theta$ для дипольного осциллятора и

$I = \frac{d^2 w^4}{8\pi(4\pi\epsilon_0)R^2 c^3} (1 + \cos^2 \theta)$ для дипольного ротатора.

С. Исходя из формулы дипольного излучения, получить выражение для затухания (вследствие излучения) полной энергии гармонически колеблющегося заряда.

Д. Исходя из формулы дипольного излучения, получить выражение для затухания (вследствие излучения) полной энергии электрического заряда, движущегося по окружности.

21. Взаимодействие электромагнитной волны с веществом. Модель Лоренца. Возникновение отраженной волны как следствие излучения электронов (эффекты интерференции).

Вычислите силу, действующую на электрон, находящийся в поле плоской электромагнитной волны.

22. Классическая теория дисперсии. Зависимость диэлектрической проницаемости от частоты $\epsilon(\omega)$. Комплексный показатель преломления. Зависимость от частоты. Волновое уравнение для поля в веществе. Области аномальной и нормальной дисперсии. Связь комплексной диэлектрической проницаемости с показателем преломления.

Вывести зависимость $\epsilon(\omega)$. Нарисовать на одном графике зависимости $\epsilon(\omega)$, $n(\omega)$, $\chi(\omega)$, где $[\epsilon(\omega)]^{1/2} = n(\omega) - i\chi(\omega)$.

23. Дисперсионные соотношения для плазмы. Фазовая и групповая скорость распространения волн в плазме. Связь фазовой и групповой скоростей с показателем преломления. Полное внутреннее отражение для длинных волн.

Объясните, почему возможна радиосвязь на многие тысячи километров на длинных волнах.

Получите выражения для фазовой и групповой скорости распространения волн в плазме.

Оптика: поляризация, интерференция, дифракция

24. Понятие поляризации электромагнитной волны. Линейная, круговая и эллиптическая поляризация. Неполяризованное и частично поляризованное излучение. Степень поляризации.

Записать аналитические выражения электрической компоненты электромагнитного поля для указанных типов поляризаций в векторной форме и вычислить их интенсивность.

<http://ido.nstu.ru>→учебные материалы→учебные курсы→ФТФ→общая физика→экзаменационные материалы

25. *Изменение поляризации при прохождении света через вещество. Поляризация излучения заряда, движущегося по окружности. Поляризация при рассеянии солнечного света на молекулах воздуха.*

26. *Поляроид и принцип его действия. Прохождение линейно-поляризованного света через поляроид. Закон Малюса. Прохождение естественного света через поляроид. Прохождение поляризованного по кругу света через поляроид. Частично поляризованное излучение и определение степени поляризации излучения с помощью поляроида.*

Вывести формулу, описывающую закон Малюса.

Вычислить интенсивность при прохождении через поляроид: а) естественного света; б) поляризованного по кругу света; в) эллиптически поляризованного света.

Можно ли с помощью поляроида отличить неполяризованный свет от света с круговой поляризацией?

Можно ли с помощью поляроида отличить поляризованный по кругу свет от света с эллиптической поляризацией?

Можно ли с помощью поляроида отличить неполяризованный свет от света с эллиптической поляризацией?

Можно ли с помощью поляроида отличить частично поляризованный свет от света с эллиптической поляризацией?

27. *Поляризация при отражении. Угол Брюстера. Окно Брюстера в гелий-неоновом лазере.*

На поверхность раздела двух сред (стекло-воздух) со стороны воздуха падает монохроматическое излучение, поляризованное в плоскости падения. Опишите качественно как (и почему) будет меняться интенсивность отраженной и преломленной волны при изменении угла падения. При каком условии отраженная волна будет отсутствовать?

28. *Двойное лучепреломление. Изменение состояния поляризации излучения при прохождении света через анизотропную кристаллическую пластинку, вырезанную параллельно оптической оси.*

Как изменится поляризация линейно поляризованного излучения, падающего на пластинку в четверть длины волны. Вектор E в падающей волне составляет угол α с оптической осью пластинки.

Как изменится поляризация линейно поляризованного излучения, падающего на пластинку в пол длины волны. Вектор E в падающей волне составляет угол α с оптической осью пластинки.

Линейно поляризованное излучения, падает на пластинку в пол длины волны. Вектор E в падающей волне составляет угол 45° с оптической осью пластинки. За пластинкой находится поляроид. Как будет меняться интенсивность света, прошедшего через поляроид при его вращении?

Линейно поляризованное излучения, падает на пластинку в четверть длины волны. Вектор E в падающей волне составляет угол 45° с оптической осью пластинки. За пластинкой находится поляроид. Как будет меняться интенсивность света, прошедшего через поляроид при его вращении?

29. *Оптические явления на границе раздела двух сред. Граничные условия. Законы отражения и преломления. Полное внутреннее отражение. Формулы Френеля. Коэффициенты отражения и преломления.*

Получить выражения для отраженной и преломленной волны, а также для коэффициентов отражения и преломления для случая нормального падения, когда вектор E поляризован в плоскости падения.

Получить выражения для отраженной и преломленной волны, а также для коэффициентов отражения и преломления для случая нормального падения, когда вектор E поляризован перпендикулярно плоскости падения.

<http://ido.nstu.ru>→учебные материалы→учебные курсы→ФТФ→общая физика→экзаменационные материалы

30. Интерференционный опыт Юнга. Интерференционная картина. Условия на максимумы и минимумы. Ширина интерференционной полосы. Длина когерентности. Зависимость интерференционной картины от ширины первой щели в опыте Юнга. Радиус когерентности. Разрешающая способность интерферометра Юнга по критерию Рэлея.

А Вывод условия интерференционных максимумов и минимумов при интерференции на двух щелях (опыт Юнга).

Б Опишите, как будет меняться интерференционная картина, если в опыте Юнга размер источника света увеличивать?

В Опишите, как в опыте Юнга изменится интерференционная картина, если вместо монохроматического, излучение будет состоять из двух волн λ_1 и λ_2 ?

Г. Опишите, как в опыте Юнга изменится интерференционная картина, если вместо монохроматического, излучение будет сплошным спектром, содержащим волны от λ_1 до λ_2 ?

31. Интерференция в тонких пленках. Интерференционные кольца Ньютона.

Вывести условия максимумов и минимумов при интерференции в отраженном свете от тонкой пленки.

На стекло ($n=1.5$) нанесена тонкая пленка MgF_2 ($n=1.38$). При какой минимальной толщине этой пленки будет подавлено отражение видимого света ($\lambda=550$ нм), падающего на пленку под углом 45° .

Вывести выражения для радиусов темных и светлых колец Ньютона.

32. Многолучевая интерференция: интерференционная картина, ширина главного максимума, минимумы и промежуточные максимумы.

Вывести выражение для интенсивности интерференционной картины линейной цепочки из N точечных излучателей.

33. Дифракция Фраунгофера на щели. Вывод основной формулы. Дифракционная картина в зависимости от угла дифракции. Ширина главного максимума, максимумы и минимумы дифракционной картины. Дифракционный предел разрешения оптических приборов по критерию Рэлея.

Оценить дифракционную расходимость лазерного луча.

Оценить дифракционный размер области при фокусировки света линзой.

Оценить минимальное расстояние между двумя точками, находящихся на расстоянии $L=1$ км от зрительной трубы с диаметром объектива $D=5$ см. Считать $\lambda=550$ нм.

С помощью принципа суперпозиции показать, что при дифракции Фраунгофера на непрозрачном диске интенсивность в центре экрана будет точно такой, как и при дифракции Фраунгофера на отверстии в непрозрачном экране. Диаметр отверстия равен диаметру диска. Расстояние от экрана до диска (отверстия) не меняется.

34. Дифракционная решетка. Главные максимумы и минимумы дифракционной картины. Ширина главных максимумов. Наблюдаемое число главных максимумов. Угловая дисперсия дифракционной решетки. Разрешение дифракционной решетки по критерию Рэлея.

А. Вывести выражение для интенсивности интерференционной картины дифракционной решетки.

Б. Опишите, как изменится интерференционная картина, если вместо монохроматического, излучение будет состоять из двух волн λ_1 и λ_2 ?

В. Опишите, как изменится интерференционная картина, если вместо монохроматического, излучение будет сплошным спектром, содержащим волны от λ_1 до λ_2 ?

Г. Число щелей дифракционной решетки $N=800$. В каком порядке эта решетка позволяет разрешить дублет натрия ($\lambda_1=589$ нм, $\lambda_2=589.6$ нм)? Чему равно угловое расстояние между компонентами дуплета в этом порядке, если период решетки $d=1.5$ мкм?

35. Дифракция Френеля. Зоны Френеля. Дифракция Френеля на отверстии. Приближенный аналитический способ расчета интенсивности на оси. Векторный способ расчета интенсивности

<http://ido.nstu.ru>→учебные материалы→учебные курсы→ФТФ→общая физика→экзаменационные материалы

на оси. Спираль Френеля. Дифракционная длина светового пучка. Ближняя и дальняя зона дифракции.

А. С помощью зон Френеля найдите интенсивность (по отношению к интенсивности падающего излучения I_0) в точке наблюдения, если отверстие в непрозрачном экране перекрывает для точки наблюдения половину первой зоны Френеля.

Б. С помощью зон Френеля найдите интенсивность (по отношению к интенсивности падающего излучения I_0) в точке наблюдения, если отверстие в непрозрачном экране перекрывает для точки наблюдения первую зону Френеля.

В. Нарисуйте качественный график зависимости интенсивности дифракционного пятна на оси от радиуса отверстия.

Г. Нарисуйте качественный график зависимость интенсивности на оси от расстояния до отверстия при фиксированном радиусе отверстия.

36. *Дифракция Френеля. Зоны Френеля. Дифракция Френеля от непрозрачного диска. Приближенный аналитический способ расчета интенсивности на оси. Векторный способ расчета интенсивности на оси. Спираль Френеля. Дифракционная длина светового пучка. Ближняя и дальняя зона дифракции.*

А. С помощью зон Френеля объясните, как изменится интенсивность в точке наблюдения, если на пути излучения поместить диск, перекрывающий для точки наблюдения первую зону Френеля.

Б. С помощью зон Френеля объясните, как изменится интенсивность в точке наблюдения, если на пути излучения поместить диск, перекрывающий для точки наблюдения половину первой зоны Френеля.

В. Нарисуйте качественный график зависимости интенсивности дифракционного пятна на оси от радиуса отверстия.

Г. Нарисуйте качественный график зависимость интенсивности на оси от расстояния до отверстия при фиксированном радиусе отверстия.

37. *Интерференция Френеля на краю полуплоскости, на щели. Векторный способ расчета интенсивности на экране. Спираль Корню.*

А. Рассмотрите интерференцию Френеля на краю полуплоскости. Нарисуйте качественный график зависимости интенсивности на экране от расстояния вдоль экрана параллельно полуплоскости.

Б. Как с помощью спирали Корню определить точку на экране, в которой интенсивность излучения будет максимальной?

С. Рассмотрите интерференцию Френеля на щели, на которую падает излучение интенсивностью I_0 . Как с помощью спирали Корню определить интенсивность на экране в геометрическом центре изображения щели?