Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

Кафедра физики

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Методические указания
к решению задач по физике
для самостоятельной работы студентов
строительных специальностей
дневной и заочной форм обучения

Воронеж 2009

Составители М.П. Сумец, С.Н. Кутищев

УДК 53(07)
ББК 22.3(я 7)

Колебания и волны [Текст]: метод. указания к решению задач по физике для самостоятельной работы студ. строит. спец. / Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т; сост.: М.П. Сумец, С.Н. Кутищев. – Воронеж, 2009. – 31 с.

Включают в себя указания к решению задач по физике, относящихся к темам: «Механические колебания», «Волны в упругой среде», «Акустика», «Электрические колебания», «Переменный ток», «Электромагнитные волны». Содержат основные формулы, примеры решения типовых задач и список задач для самостоятельного решения по каждой теме.

Предназначены для студентов строительных специальностей всех форм обучения.

Ил. 5. Табл. 5.

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного архитектурно-строительного университета

Рецензент – В.П. Авдеев, докт. техн. наук, профессор, зав. каф. математического моделирования и вычислительной техники ВГАСУ

Введение

Данные методические указания предназначены для студентов строительных специальностей технических университетов дневной и заочной формы обучения. Содержат задачи по трем темам: «Механические колебания», «Волны в упругой среде, акустика», «Электрические колебания, переменный ток, электромагнитные волны». Каждый тематический раздел включает в себя подраздел «Основные формулы» с кратким описанием используемых для решения задач физических формул, подраздел «Примеры решения задач» с подробными решениями типовых задач и подраздел «Задачи», содержащий задачи для самостоятельного решения. Все задачи сопровождаются ответами.

Решение предложенных задач позволит студентам освоить лекционный материал темы «Колебания и волны» и подготовиться к экзамену по физике.

Механические колебания

Основные формулы

- Дифференциальное уравнение гармонических колебаний материальной точки

$$\ddot{x}+\omega_0^2 x=0,$$

где ω_0 – собственная угловая частота колебаний.

- Уравнение гармонических колебаний

$$x=A\cos(\omega_0 t+\varphi),$$

где x – смещение колеблющейся точки от положения равновесия; t – время; A, ω_0, φ – соответственно амплитуда, собственная угловая частота, начальная фаза колебаний.

- Собственная угловая частота колебаний

$$\omega_0=2\pi/T,$$

где T – период колебаний.

- Амплитуда результирующего колебания, полученного при сложении двух одинаково направленных колебаний, описываемых уравнениями $x_1=A_1\cos(\omega_0 t+\varphi_1)$ и $x_2=A_2\cos(\omega_0 t+\varphi_2)$:

$$A^2=A_1^2+A_2^2+2A_1A_2\cos(\varphi_2-\varphi_1).$$

- Начальная фаза результирующего колебания, полученного при сложении двух одинаково направленных колебаний, описываемых уравнениями $x_1=A_1\cos(\omega_0 t+\varphi_1)$ и $x_2=A_2\cos(\omega_0 t+\varphi_2)$:

$$tg\varphi=\frac{A_1\sin\varphi_1+A_2\sin\varphi_2}{A_1\cos\varphi_1+A_2\cos\varphi_2}.$$

• Уравнение траектории точки, участвующей в двух взаимно перпендикулярных колебаниях с амплитудами A_1 и A_2 и начальными фазами φ_1 и φ_2

$$\frac{x^2}{A_1^2}+\frac{y^2}{A_2^2}-\frac{2xy}{A_1 A_2}\cos(\varphi_2-\varphi_1)=\sin^2(\varphi_2-\varphi_1).$$

- Для пружинного маятника

$$\omega_0=\sqrt{k/m}\ ,$$

где m – масса тела, k – жесткость пружины.

- Для математического маятника

$$\omega_0=\sqrt{g/l}\ ,$$

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

- Для физического маятника

$$\omega_0=\sqrt{mgl/J}\ ,$$

где J – момент инерции колеблющегося тела относительно оси колебаний, l – расстояние от оси колебаний до центра масс маятника, m – масса тела.

- Частота крутильных колебаний тела, подвешенного на упругой нити

$$\omega_0=\sqrt{k/J}\ ,$$

где J – момент инерции тела относительно оси, совпадающей с упругой нитью, k – жесткость упругой нити.

- Дифференциальное уравнение затухающих колебаний

$$\ddot{x}+2\delta\dot{x}+\omega_0^2 x=0\ ,$$

где ω_0 – собственная угловая частота колебаний, δ – коэффициент затухания ($\delta=r/(2m)$, r – коэффициент сопротивления, m – масса тела).

- Уравнение затухающих колебаний

$$x=A_0 e^{-\delta t}\cos(\omega t+\varphi)\ ,$$

где A_0 – амплитуда колебаний в момент времени t=0, ω – угловая частота затухающих колебаний.

- Угловая частота затухающих колебаний

$$\omega=\sqrt{\omega_0^2-\delta^2}.$$

- Логарифмический декремент затухания

$$\theta=\ln\frac{A(t)}{A(t+T)}=\delta T\ ,$$

где $A(t)$ и $A(t+T)$ – амплитуды двух последовательных колебаний, отстоящих по времени друг от друга на период.

- Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний

$$m\ddot{x}=-r\dot{x}-kx+F_0 cos\omega t \text{ или } \ddot{x}+2\delta\dot{x}+\omega_0^2 x=f_0 cos\omega t\ ,$$

где $F_0 cos\omega t$ – внешняя периодическая сила, действующая на колеблющуюся материальную точку и вызывающая вынужденные колебания; F_0 – её амплитудное значение; $f_0=F_0/m$.

- Амплитуда вынужденных колебаний

$$A=\frac{f_0}{\sqrt{\left(\omega_0^2-\omega^2\right)^2+4\delta^2\omega^2}}.$$

- Резонансная частота и резонансная амплитуда

$$\omega_{рез}=\sqrt{\omega_0^2-2\delta^2} \text{ и } A_{рез}=\frac{f_0}{2\delta\sqrt{\omega_0^2+\delta^2}}.$$

Примеры решения задач

Пример 1. Амплитуда гармонического колебания $A=5\ см$, период $T=4\ с$. Найти максимальную скорость $v_{\max}$ колеблющейся точки и ее максимальное ускорение $a_{\max}$.

Р е ш е н и е . Уравнение гармонического колебательного движения точки имеет вид: $x=A\sin\left(\frac{2\pi}{T}t+\phi\right)=5\sin\left(\frac{\pi}{2}t+\phi\right)\ см$. Начальная фаза φ неизвестна и далее будет показано, что она не требуется для решения задачи. Скорость v колеблющейся точки по определению равна $v=\frac{dx}{dt}=\frac{5\pi}{2}\cos\left(\frac{\pi}{2}t+\phi\right)$. Таким образом, скорость точки изменяется по гармоническому закону с амплитудой (максимальным значением) $v_{\max}=5\pi/2=7,85\ см/с$. Ускорение a колеблющейся точки по определению равно $a=\frac{d^2x}{dt^2}=\frac{dv}{dt}=-\frac{5\pi^2}{4}\sin\left(\frac{\pi}{2}t+\phi\right)$. Следовательно, ускорение точки также изменяется по гармоническому закону с амплитудой (максимальным значением) $a_{\max}=5\pi^2/4=12,3\ см/с^2$.

Пример 2. Найти амплитуду A и начальную фазу φ гармонического колебания, полученного от сложения одинаково направленных колебаний, данных уравнениями $x_1=0,02\sin(5\pi t+\pi/2)\ м$ и $x_2=0,03\sin(5\pi t+\pi/4)\ м$.

Р е ш е н и е . Амплитуда суммы одинаково направленных гармонических колебаний одинаковой частоты (периода) рассчитывается по формуле $A=\sqrt{A_1^2+A_2^2+2A_1A_2\cos(\phi_2-\phi_1)}$. По условию задачи: $A_1=0,02;\ A_2=0,03;$ $\phi_1=\pi/2;\ \phi_2=\pi/4$. Следовательно, $A=\sqrt{(0,02)^2+(0,03)^2+2\cdot0,02\cdot0,03\cdot\cos(-\pi/4)}=4,6\ см$. Начальная фаза суммарного колебания φ определяется из уравнения

$$tg\,\phi=\frac{A_1\sin\phi_1+A_2\sin\phi_2}{A_1\cos\phi_1+A_2\cos\phi_2}=\frac{0,02\sin(\pi/2)+0,03\sin(\pi/4)}{0,02\cos(\pi/2)+0,03\cos(\pi/4)}=\frac{2\sqrt{2}+3}{3}=1,943.$$

Следовательно, $\phi=62,76^\circ=62^\circ 46'$.

Пример 3. Бревно массы $M=20\ кг$ висит на двух шнурах длины $\ell=1\ м$ каждый. В торец бревна попадает и застревает в нем пуля массы $m=10\ г$, летящая со скоростью $v=500\ м/с$. Найти амплитуду ϕ_m и период *T* колебаний бревна. Трением пренебречь.

Р е ш е н и е . Бревно на шнурах длиной ℓ можно считать математическим маятником, период колебаний *T* которого рассчитывается по формуле: $T=2\pi\sqrt{\ell/g}=2\pi\sqrt{1/9,8}=2\ с$, где $g=9,8\ м/с^2$ – ускорение свободного падения. Попадание и застревание пули в бревне является абсолютно неупругим ударом, для которого закон сохранения импульса записывается как: $mv=(m+M)\ v_{\max}$. Следовательно, максимальная скорость бревна с пулей $v_{\max}=\frac{mv}{m+M}$. Бревно с пулей будет совершать гармонические колебания $x=A\sin\left(\frac{2\pi}{T}t+\phi\right)$. Скорость бревна, в свою очередь, $v=\frac{dx}{dt}=A\frac{2\pi}{T}\cos\left(\frac{2\pi}{T}t+\phi\right)$. Максимальная скорость бревна (амплитуда скорости) $v_{\max}=A\frac{2\pi}{T}$. Следовательно, $A=\frac{mv}{(m+M)}\frac{T}{2\pi}$. Угловая амплитуда ϕ_m малых колебаний бревна связана с амплитудой *A* линейных колебаний соотношением: $A=\ell\sin\phi_m\approx\ell\phi_m$. Приближенное равенство выполняется для малых углов: $\phi_m<<1$. Окончательно для угловой амплитуды ϕ_m колебаний бревна получаем $\phi_m=\frac{A}{\ell}=\frac{mv}{(m+M)}\frac{T}{2\pi\ell}=0,0795\ рад=4,6^\circ$.

Пример 4. Период затухающих колебаний $T=4\ с$; логарифмический декремент затухания $\theta=1,6$; начальная фаза $\phi=0$. При $t=T/4$ смещение точки $x=4,5\ см$. Написать уравнение движения этого колебания.

Р е ш е н и е . Уравнение затухающего колебательного движения имеет вид $x=A\ e^{-\delta\, t}\sin\left(\frac{2\pi}{T}t+\phi\right)$. Коэффициент затухания $\delta=\theta/T=1,6/4=0,4$. Следовательно, $x=A\ e^{-0,4\, t}\sin\left(\frac{\pi}{2}t\right)$. Амплитуду *A* затухающих колебаний находим из условия $x(T/4)=4{,}5\ см$. Следовательно, $4{,}5=A\ e^{-0{,}4\cdot 1}\sin\left(\frac{\pi}{2}\cdot 1\right)$. Получаем, что $A=4{,}5\cdot e^{0{,}4}=6{,}7\ см$. Окончательно уравнение затухающих колебаний: $x=6{,}7\cdot e^{-0{,}4\,t}\sin\left(\frac{\pi}{2}t\right)\ см$.

Пример 5. Тело массой $m=10\ г$ совершает затухающие колебания с максимальной амплитудой $A_{\max}=7\ см$, начальной фазой $\phi=0$ и коэффициентом затухания $\delta=1{,}6\ c^{-1}$. На это тело начала действовать внешняя периодическая сила *F*, под действием которой установились вынужденные колебания. Уравнение вынужденных колебаний имеет вид $x=5\sin(10\pi\ t-3\pi/4)\ см$. Найти (с числовыми коэффициентами) уравнение собственных колебаний и уравнение внешней периодической силы.

Р е ш е н и е . Уравнение собственных затухающих колебаний имеет вид $x=A_{\max}\ e^{-\delta t}\sin(\omega_0 t)$. Сдвиг фаз между собственными и вынужденными колебаниями равен $-3\pi/4$. Следовательно, $tg\,\phi=tg\left(-\frac{3\pi}{4}\right)=\frac{2\delta\omega}{\omega_0^2-\omega^2}=1$ и $\omega_0=\sqrt{\omega^2+2\delta\omega}$, где частота вынужденных колебаний $\omega=10\pi$ и коэффициент затухания $\delta=1{,}6\ c^{-1}$. Следовательно, $\omega_0=10{,}5\pi$. Тогда уравнение собственных колебаний: $x=7e^{-1{,}6t}\sin(10{,}5\pi t)\ см$. Уравнение внешней периодической силы: $F=F_0\sin(10\pi t)$, где $F_0=mA\sqrt{(\omega_0^2-\omega^2)^2+4\delta^2\omega^2}$ ($A=5\ см$ – амплитуда вынужденных колебаний). Получаем $F_0=71{,}3\ мН$. Следовательно, уравнение внешней периодической силы: $F=71{,}3\sin(10\pi t)\ мН$.

Задачи

1.1. Точка совершает колебания с амплитудой ***A***=4см и периодом ***T***=2с. Написать уравнение этих колебаний, считая, что в момент t=0 смещения x(0)=0 и $\dot{x}(0)<0$. Определить фазу (ωt+φ) для двух моментов времени: 1) когда смещение x=1 см и $\dot{x}>0$; 2) когда скорость $\dot{x}=-6$ см/с и x<0. (x= A cos (ωt+φ), где A= 4 см, ω=2π/T=π рад/с, φ=π/2 рад; 1)5π/3 рад; 2)0,842π рад).

1.2. Определить максимальные значения скорости $\dot{x}_{\max}$ и ускорения $\ddot{x}_{\max}$ точки, совершающей гармонические колебания с амплитудой ***A***=3 см и угловой частотой ω=π/2 $с^{-1}$. (4,71 см/с; 7,40 см/$с^2$).

1.3. Точка совершает колебания по закону x=Acosωt, где ***A*** =5 см; ω =

$2 c^{-1}$. Определить ускорение $|\ddot{x}|$ точки в момент времени, когда ее скорость $\dot{x}$= 8 см/с. ($|\ddot{x}|= \omega\sqrt{(\omega^2 A^2-\dot{x}^2)}$=12 см/с^2).

1.4. Точка совершает гармонические колебания. Наибольшее смещение x_{max} точки равно 10 см, наибольшая скорость $\dot{x}_{max}$ = 20 см/с. Найти угловую частоту ω колебаний и максимальное ускорение $\ddot{x}_{max}$ точки. (2 c^{-1}; 40 см/с^2).

1.5. Максимальная скорость $\dot{x}_{max}$ точки, совершающей гармонические колебания, равна 10см/с, максимальное ускорение $\ddot{x}_{max}$=100 см/с^2. Найти угловую частоту ω колебаний, их период ***T*** и амплитуду ***A***. Написать уравнение колебаний, приняв начальную фазу равной нулю. (10 c^{-1}; 0,628 с; 1 см; x= A cos ωt).

1.6. Точка совершает колебания по закону x=Asinωt .В некоторый момент времени смещение x_1 точки оказалось равным 5 см. Когда фаза колебаний увеличилась вдвое, смещение x_2 стало равным 8 см. Найти амплитуду ***A*** колебаний. (A=$2x_1^2/\sqrt{4x_1^2-x_2^2}$ =8,33 см).

1.7. Колебания точки происходят по закону x=Acos(ωt/+φ).В некоторый момент времени смещение x точки равно 5 см, ее скорость $\dot{x}$=20 см/с и ускорение $\ddot{x}$=-80 см/с^2. Найти амплитуду ***A***, угловую частоту ω, период ***T*** колебаний и фазу (ωt/+φ) в рассматриваемый момент времени. (ω=$\sqrt{-\ddot{x}/x}$=4 c^{-1}; T=2π/ω=1,57 с; A=$\sqrt{\dot{x}^2+x^2\omega^2}$=7,07 см; ωt+φ=arcos(x/A)= π/4 рад).

Сложение колебаний

1.8. Два одинаково направленных гармонических колебания одного периода с амплитудами A_1=10 см и A_2=6 см складываются в одно колебание с амплитудой ***A***=14 см. Найти разность фаз Δφ складываемых колебаний. (π/3 рад).

1.9. Два гармонических колебания, направленных по одной прямой и имеющих одинаковые амплитуды и периоды, складываются в одно колебание той же амплитуды. Найти разность фаз Δφ складываемых колебаний. (2π/3 рад или 4π/3 рад).

1.10. Определить амплитуду ***A*** и начальную фазу φ результирующего колебания, возникающего при сложении двух колебаний одинаковых направления и периода: $x_1=A_1 \sin \omega t$ и $x_2=A_2 \sin \omega(t+\tau)$, где $A_1=A_2$=1 см; ω=π c^{-1}; τ=0,5 с. Найти уравнение результирующего колебания. (A=1,41 см; φ=π/4 рад; x = A cos (ωt+φ), где ω = π c^{-1}).

1.11. Точка участвует в двух одинаково направленных колебаниях: $x_1=A_1\sin\omega t$ и $x_2=A_2\cos \omega t$, где A_1=1 см; A_2=2 см; ω=1 c^{-1}. Определить амплитуду ***A*** результирующего колебания, его частоту ν и начальную фазу φ. Найти уравнение этого движения. (A=2,24 см; ν=0,159 Гц; φ=0,353π рад; x= A cos (ωt+φ), где ω=1 c^{-1}).

1.12. Складываются два гармонических колебания одного направления с одинаковыми периодами $T_1=T_2$=1,5 с и амплитудами $A_1=A_2$=2 см. Начальные фазы колебаний φ_1=π/2 и φ_2=π/3. Определить амплитуду ***A*** и начальную фазу φ результирующего колебания. Найти его уравнение и построить с соблюдением масштаба векторную диаграмму сложения амплитуд. (A=3,86 см; φ=0,417π рад; $x= A \cos(\omega t+\varphi)$, где $\omega=2\pi/T$ c^{-1} = 4,19 c^{-1}).

1.13. Складываются три гармонических колебания одного направления с одинаковыми периодами $\boldsymbol{T_1=T_2=T_3}$=2 с и амплитудами $\boldsymbol{A_1=A_2=A_3}$=3 см. Начальные фазы колебаний $\varphi_1=0$, $\varphi_2=\pi/3$, $\varphi_3=2\pi/3$. Построить векторную диаграмму сложения амплитуд. Определить из чертежа амплитуду $\boldsymbol{A}$ и начальную фазу φ результирующего колебания. Найти его уравнение. (A= 6 см; $\varphi= \pi/3$ рад; $x= A \cos(\omega t+\varphi)$, где $\omega=2\pi/T$ $c^{-1}=\pi$ c^{-1}).

1.14. Складываются два гармонических колебания одинаковой частоты и одинакового направления: $x_1= A_1\cos(\omega t+\varphi_1)$ и $x_2=A_2\cos(\omega t+\varphi_2)$. Начертить векторную диаграмму для момента времени t=0. Определить аналитически амплитуду $\boldsymbol{A}$ и начальную фазу φ результирующего колебания. Отложить $\boldsymbol{A}$ и φ на векторной диаграмме. Найти уравнение результирующего колебания (в тригонометрической форме через косинус). Задачу решить для двух случаев: 1) A_1=1 см, $\varphi_1=\pi/3$; A_2=2 см, $\varphi_2=5\pi/6$; 2) A_1=1 см, $\varphi_1=2\pi/3$; A_2=1 см, $\varphi_2=7\pi/6$. (1) A= 2,24см; φ= 0,686π рад; 2) A= 1,41см; φ=0,917π рад).

1.15. Два камертона звучат одновременно. Частоты ν_1 и ν_2 их колебаний соответственно равны 440 и 440,5 Гц. Определить период $\boldsymbol{T}$ биений. (2с).

1.16. Складываются два взаимно перпендикулярных колебания, выражаемых уравнениями $x=A_1\sin \omega t$ и $y=A_2\cos\omega(t+\tau)$, где $\boldsymbol{A_1}$ = 2 см, $\boldsymbol{A_2}$=1 см, $\omega= \pi$ c^{-1}, τ=0,5 с. Найти уравнение траектории и построить ее, показав направление движения точки. ($y= - (A_2/A_1)x$ или $y= - 1/2x$).

1.17. Точка совершает одновременно два гармонических колебания, происходящих по взаимно перпендикулярным направлениям и выражаемых уравнениями $x=A_1\cos\omega t$ и $y=A_2\cos\omega(t+\tau)$, где $\boldsymbol{A_1}$=4 см, $\boldsymbol{A_2}$=8 см, $\omega=\pi$ c^{-1}, τ =1 с. Найти уравнение траектории точки и построить график ее движения. ($y= - (A_2/A_1)x$ или $y= - 2x$).

1.18. Точка совершает одновременно два гармонических колебания одинаковой частоты, происходящих по взаимно перпендикулярным направлениям и выражаемых уравнениями: 1) $x=A\cos\omega t$ и $y=A\cos\omega t$; 2) $x=A\cos\omega t$ и $y=A_1\cos\omega t$; 3) $x=A\cos\omega t$ и $y=A\cos(\omega t+\varphi_1)$; 4) $x=A_2\cos\omega t$ и $y=A\cos(\omega t+\varphi_2)$; 5) $x=A_1\cos\omega t$ и $y=A_1\sin\omega t$; 6) $x=A\cos\omega t$ и $y=A_1\sin\omega t$; 7) $x=A_2\sin\omega t$ и $y=A_1\sin\omega t$; 8) $x=A_2\sin\omega t$ и $y=A\sin(\omega t+\varphi_2)$. Найти для восьми случаев: уравнение траектории точки, построить ее с соблюдением масштаба и указать направление движения. Принять: $\boldsymbol{A}$=2 см, $\boldsymbol{A_1}$=3 см, $\boldsymbol{A_2}$= 1 см; $\varphi_1=\pi/2$, $\varphi_2=\pi$. (1) $y= x$; 2) $y = (A_2/A_1)x$, $y = \frac{3}{2}x$; 3) $x^2+y^2=A^2$, $x^2+y^2=4$; 4) $y= -(A_2/A_1)x$, $y= - 2x$; 5) $x^2+y^2=A^2$, $x^2+y^2=9$; 6) $\frac{x^2}{A_1^2}+\frac{y^2}{A_2^2}=1$, $\frac{x^2}{4}+\frac{y^2}{9}=1$; 7) $y=(A_2/A_1)x$, $y=3x$; 8) $y=-(A_2/A_1)x$, $y=-2x$).

1.19. Точка участвует одновременно в двух взаимно перпендикулярных колебаниях, выражаемых уравнениями $x=A_1\cos\omega t$ и $y=A_2 \sin\omega t$, где A_1=2 см, A_2=1 см. Найти уравнение траектории точки и построить ее, указав направление движения. ($\frac{x^2}{A_1^2}+\frac{y^2}{A_2^2}=1$, $\frac{x^2}{4}+\frac{y^2}{1}=1$).

1.20. Точка одновременно совершает два гармонических колебания, происходящих по взаимно перпендикулярным направлениям и выражаемых уравнениями $x=A_1\sin\omega t$ и $y=A_2\cos\omega t$, где A_1=0,5 см; A_2=2 см. Найти уравнение траектории точки и построить ее, указав направление движения. ($\frac{x^2}{0{,}25}+\frac{y^2}{4}=1$).

1.21. Движение точки задано уравнениями $x=A_1\sin\omega t$ и $y=A_2\sin\omega(t+\tau)$, где A_1=10 см, A_2=5 см, ω=2 с$^{-1}$, $\tau=\pi/4$ с. Найти уравнение траектории и скорость точки в момент времени t =0,5с. ($\frac{x^2}{100}+\frac{y^2}{25}=1$, υ = 13,7 м/с).

1.22. Материальная точка участвует одновременно в двух взаимно перпендикулярных колебаниях, выражаемых уравнениями $x=A_1\cos\omega t$ и $y=-A_2\cos 2\omega t$, где A_1=2 см, A_2=1 см. Найти уравнение траектории и построить ее. ($y=-2(A_2/A_1)x^2+A_2$, $y=-(\frac{1}{2}$¿$x^2+1)$.

1.23. Точка участвует одновременно в двух гармонических колебаниях, происходящих по взаимно перпендикулярным направлениям и описываемых уравнениями: 1) $x=A\sin\omega t$ и $y=A\cos 2\omega t$; 2) $x=A\cos\omega t$ и $y=A\sin 2\omega t$; 3) $x=A\cos 2\omega t$ и $y=A_1\cos\omega t$; 4) $x=A_1\sin\omega t$ и $y=A\cos\omega t$. Найти уравнение траектории точки, построить ее с соблюдением масштаба и указать направление движения. Принять: A=2 см; A_1=3 см. (1) $y=A-2\frac{x^2}{A}$, $y=-x^2+2$; 2) $y=2\frac{x^2}{A}-A$, $y=x^2-2$; 3) $2Ay-A_1x^2=AA_1$, $y=\frac{3}{4}x^2+\frac{3}{2}$; 4) $x=2(A_1/A)y\sqrt{1-y^2 ¿ A^2}$, $x=\frac{3}{2}y\sqrt{4-y^2}$).

1.24. Точка участвует одновременно в двух взаимно перпендикулярных колебаниях, выражаемых уравнениями $x=A_1\cos\omega t$ и $y=A_2\sin 0{,}5\omega t$, где A_1= 2 см, A_2=3 см. Найти уравнение траектории точки и построить ее, указав направление движения. ($y=\frac{A_2^2}{2A_1}(A_1-x)$, $x=\frac{9}{4}(2-x)$).

1.25. Смещение светящейся точки на экране осциллографа является результатом сложения двух взаимно перпендикулярных колебаний, которые описываются уравнениями: 1) $x=A\sin 3\omega t$ и $y=A\sin 2\omega t$; 2) $x=A\sin 3\omega t$ и $y=A\cos 2\omega t$; 3) $x=A\sin 3\omega t$ и $y=A\cos\omega t$. Применяя графический метод сложения и соблюдая масштаб, построить траекторию светящейся точки на экране. Принять ***A*** =4см. (Самостоятельно).

Динамика гармонических колебаний. Маятники

1.26. Грузик массой m=250 г, подвешенный к пружине, колеблется по вертикали с периодом ***T***=1 с. Определить жесткость *k* пружины. (9,87 Н/м).

1.27. К спиральной пружине подвесили грузик, в результате чего пружина растянулась на x=9 см. Каков будет период $\boldsymbol{T}$ колебаний грузика, если его немного оттянуть вниз и затем отпустить? (0,6 с).

1.28. Гиря, подвешенная к пружине, колеблется по вертикали с амплитудой $\boldsymbol{A}$=4 см. Определить полную энергию $\boldsymbol{E}$ колебаний если жесткость k пружины равна 1 кН/м. (0,8 Дж).

1.29. Найти отношение длин двух математических маятников, если отношение периодов их колебаний равна 1,5. ($\frac{l_1}{l_2}$= -($\frac{T_1}{T_2}$)^2=2,25 .$\frac{l_1}{l_2}=-\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2$=2,25).

1.30. Математический маятник длиной l=1 м установлен в лифте. Лифт поднимается с ускорением a=2,5 м/с^2. Определить период $\boldsymbol{T}$ колебаний маятника. (T=2π$\sqrt{l/(g+a)}$=1,8 с).

1.31. Тонкий обруч, повешенный на гвоздь, вбитый горизонтально в стену, колеблется в плоскости, параллельной стене. Радиус R обруча равен 30 см. Вычислить период $\boldsymbol{T}$ колебаний обруча. (T=2π$\sqrt{2R/g}$=1.55 с).

1.32. Однородный диск радиусом $R=30$ см колеблется около горизонтальной оси, проходящей через одну из образующих цилиндрической поверхности диска. Каков период $\boldsymbol{T}$ его колебаний? (T=2π$\sqrt{3R/(2g)}$=1.35 с).

1.33. Диск радиусом R=24 см колеблется около горизонтальной оси, проходящей через середину одного из радиусов перпендикулярно плоскости диска. Определить приведенную длину $\boldsymbol{L}$ и период $\boldsymbol{T}$ колебаний такого маятника. (36 см).

1.34. Математический маятник длиной l_1=40 см и физический маятник в виде тонкого прямого стержня длиной l_2=60 см синхронно колеблются около одной и той же горизонтальной оси. Определить расстояние, a центра масс стержня от оси колебаний. (10 см).

1.35. Верхний конец стальной проволоки диаметром 0,5 мм и длинной 80 см защемлён. К нижнему концу проволоки прикреплён шар массой 2 кг и диаметром 10 см. Если шар повернуть вокруг вертикальной оси на небольшой угол и отпустить, он будет совершать вращательные колебания. Определите период колебаний шара. (11,5 с).

1.36. Тонкая прямоугольная пластинка может колебаться вокруг горизонтальной оси, лежащей в ее плоскости и перпендикулярной одной из ее сторон, длина которой равна l .

а) Каков период колебаний, если ось совпадает с верхней стороной пластинки?

б) При каком расстоянии оси от середины пластинки период колебаний пластинки будет наименьшим? Каков этот период? (1) 2π$\sqrt{\frac{2l}{3g}}$; 2)$\frac{l}{2\sqrt{3}}$; 2π $\sqrt{\frac{l}{g\sqrt{3}}}$).

1.37. Шар радиусом 5 см подвешен на нити длиной 10 см. Определите погрешность, которую мы делаем, приняв его за математический маятник длиной 15 см. (2,2%).

Затухающие колебания

1.38. Амплитуда затухающих колебаний маятника за время t_1=5 мин уменьшилась в два раза. За какое время t_2, считая от начального момента, амплитуда уменьшится в восемь раз? (15 мин).

1.39. За время t=8 мин амплитуда затухающих колебаний маятника уменьшилась в три раза. Определить коэффициент затухания δ. (0,0023 $с^{-1}$).

1.40. Амплитуда колебаний маятника длиной l=1 м за время t=10 мин уменьшилась в два раза. Определить логарифмический декремент колебаний Θ. ($\Theta = \frac{2\pi}{l}\sqrt{\frac{l}{g}}\ln\frac{A_1}{A_2} = 2{,}31\cdot10^{-3}$).

1.41. Логарифмический декремент колебаний Θ маятника равен 0,003. Определить число ***N*** полных колебаний, которые должен сделать маятник, чтобы амплитуда уменьшилась в два раза. ($N= \frac{1}{\Theta}\ln\frac{A_1}{A_2}$ =231).

1.42. Гиря массой m=500 г подвешена к спиральной пружине жесткостью k =20 Н/м и совершает упругие колебания в некоторой среде. Логарифмический декремент колебаний Θ=0,004. Определить число ***N*** полных колебаний, которые должна совершить гиря, чтобы амплитуда колебаний уменьшилась в n=2 раза. За какое время t произойдет это уменьшение? ($N= \frac{1}{\Theta}\ln\frac{A_1}{A_2}$=173; $t=2\pi n\sqrt{\frac{m}{k}}$ = 2 мин 52 с).

1.43. Тело массой m=5 г совершает затухающие колебания. В течение времени t =50 с тело потеряло 60% своей энергии. Определить коэффициент сопротивления ***b.*** ($9{,}16\cdot10^{-5}$ кг/с).

1.44.Определить период ***T*** затухающих колебаний, если период $\boldsymbol{T_0}$ собственных колебаний системы равен 1с и логарифмический декремент колебаний Θ =0,628. (1,005).

1.45. Найти число ***N*** полных колебаний системы, в течение которых энергия системы уменьшилась в n=2 раза. Логарифмический декремент колебаний Θ =0,01. (35).

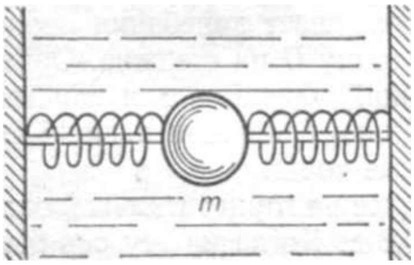


Рис.1

1.46. Тело массой $m = 1$ кг находится в вязкой среде с коэффициентом сопротивления b=0,05 кг/с. С помощью двух одинаковых пружин жесткостью k=50 Н/м каждое тело удерживается в положении равновесия, пружины при этом не деформированы (рис. 1). Тело сместили от положения равновесия и отпустили. Определить: 1) коэффициент затухания δ; 2) частоту ν колебаний; 3) логарифмический декремент колебаний Θ; 4) число N колебаний, по прошествии которых амплитуда уменьшится в e раз. (1) 0,025; 2) 1,59Гц; 3) 0,0157; 4) 64).

1.47. Начальная амплитуда колебаний маятника равна 3 см. Через 10 с она стала равной 1 см. Через сколько времени амплитуда колебаний будет равна 0,3 см? (21 с).

1.48. Каков логарифмический декремент затухания маятника длиной 0,8 м, если его начальная амплитуда равна 5°, а через 5 мин она становится равной 0,5°? (0,014).

1.49. Через сколько времени энергия колебаний камертона с частотой f =600 Гц уменьшится в $n=10^6$ раз, если логарифмический декремент затухания равен 0,0008? ($t = \frac{\ln\sqrt{n}}{\upsilon f}$ =14 с).

1.50. Какова общая сумма путей, пройденных колеблющейся точкой до полного затухания колебаний, если амплитуда первого колебания равна 1 мм, а логарифмический декремент затухания равен 0,002? (2 м).

Вынужденные колебания. Резонанс

1.51. Под действием силы тяжести электродвигателя консольная балка, на которой он установлен, прогнулась на h=1 мм. При какой частоте вращения n якоря электродвигателя может возникнуть опасность резонанса? ($n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{h}}$ =16 c^{-1}).

1.52. Вагон массой m=80 т имеет четыре рессоры. Жесткость k пружин каждой рессоры равна 500 кН/м. При какой скорости υ вагон начнет сильно раскачиваться вследствие толчков на стыках рельс, если длина l рельса равна 12,8 м? ($\upsilon=(l/\pi)\sqrt{k/m}$=10,2 м/с).

1.53. Колебательная система совершает затухающие колебания с частотой ν=1000 Гц. Определить частоту ν_0 собственных колебаний, если резонансная частота $\nu_{рез}$=998 Гц. (1002 Гц).

1.54. Определить, на сколько резонансная частота отличается от частоты ν_0=1 кГц собственных колебаний системы, характеризуемой коэффициентом затухания δ=400 c^{-1}. ($\Delta\nu= \delta^2/(4\pi^2 \nu_0)$=4,05 Гц).

1.55. Определить логарифмический декремент колебаний Θ колебательной системы, для которой резонанс наблюдается при частоте, меньшей собственной частоты ν_0=10 кГц на $\Delta\nu$=2 Гц. ($\theta=2\pi\sqrt{\Delta\nu/\nu_0}$=0,089).

1.56. Период T_0 собственных колебаний пружинного маятника равен 0,55 с. В вязкой среде период T того же маятника стал равным 0,56 с. Определить резонансную частоту $\nu_{рез}$ колебаний. ($\nu_{рез}=\sqrt{2/T^2-1/T_0^2}$=1,75 $с^{-1}$).

1.57. Пружинный маятник (жесткость k пружины равна 10 Н/м, масса m груза равна 100 г) совершает вынужденные колебания в вязкой среде с коэффициентом сопротивления r=$2\cdot10^{-2}$ кг/с. Определить коэффициент затухания δ и резонансную амплитуду $A_{РЕЗ}$, если амплитудное значение вынуждающей силы F_0=10 мН. (0,1 $с^{-1}$; 5 см).

1.58. Тело совершает вынужденные колебания в среде с коэффициентом сопротивления r=1 г/с. Считая затухание малым, определить амплитудное значение вынуждающей силы, если резонансная амплитуда $A_{рез}$=0,5 см и частота ν_0 собственных колебаний равна 10 Гц $с^{-1}$. ($F_0=2\pi\nu_0 rA_{РЕЗ}$=0,314 мН).

1.59. Амплитуды вынужденных гармонических колебаний при частоте ν_1=400 Гц и ν_2=600 Гц равны между собой. Определить резонансную частоту $\nu_{рез.}$ Затуханием пренебречь. (510 Гц).

1.60.К спиральной пружине жесткостью k=10 Н/м подвесили грузик массой m=10 г и погрузили всю систему в вязкую среду. Приняв коэффициент сопротивления b равным 0,1 кг/с, определить: 1) частоту ν_0 собственных колебаний; 2) резонансную частоту $\nu_{рез}$; 3) резонансную амплитуду $A_{РЕЗ}$, если вынуждающая сила изменяется по гармоническому закону и ее амплитудное значение F_0=0,02 Н; 4) отношение резонансной амплитуды к статическому смещению под действием силы F_0. (1) 5,03 Гц; 2) 4,91 Гц; 3) 6,4 мм; 4) 3,2).

1.61. Во сколько раз амплитуда вынужденных колебаний будет меньше резонансной амплитуды, если частота изменения вынуждающей силы будет больше резонансной частоты: 1)на 10%? 2)в два раза? Коэффициент затухания δ в обоих случаях принять равным 0,1 ω_0 (ω_0 − угловая частота собственных колебаний). (1) 1,53; 2) 15,2).

1.62. Амплитуда смещения вынужденных колебаний при очень малой частоте равна s_0=2 мм, а при резонансе равна s=16 мм, Предполагая, что декремент затухания меньше единицы, определите его. ($s=\frac{s_0}{2}(\frac{2\pi}{\upsilon}+\frac{\upsilon}{2\pi})$; при $\upsilon<1$ можно принять, что $s=\frac{\pi s_0}{\upsilon}$, откуда $\upsilon=\frac{\pi s_0}{\upsilon}$ =0,4).

Волны в упругой среде. Акустика

Основные формулы

- Уравнение плоской волны

$$\xi(x,t)=A\cos\left(\omega\left(t-\frac{x}{v}\right)\right) или\, \xi(x,t)=A\cos(\omega t-kx),$$

где $\xi(x,t)$ – смещение точек среды с координатой x в момент времени t; ω – угловая частота; υ – скорость распространения колебаний в среде (фазовая скорость); κ – волновое число; $\kappa=2\pi/\lambda$; λ – длина волны.

- Длина волны связана с периодом T колебаний и частотой ν соотношениями

$$\lambda=\upsilon T \;\; и \;\; \lambda=\upsilon/\nu.$$

- Разность фаз колебаний двух точек среды, расстояние между которыми (разность хода) равно Δx,

$$\Delta\varphi=(2\pi/\lambda)\Delta x ,$$

где $\boldsymbol{\lambda}$ - длина волны.

- Уравнение стоячей волны

$$\xi(x,t)=A\cos\left(\omega\frac{x}{v}\right)\cos(\omega t)\, или\, \xi(x,t)=A\cos(kx)\cos(\omega t) .$$

- Фазовая скорость продольных волн в упругой среде:

в твердых телах $\upsilon=\sqrt{E/\rho}$,

где E – модуль Юнга; ρ – плотность вещества;

в газах $\upsilon=\sqrt{\gamma RT/M}$, или $\upsilon=\sqrt{\gamma p/\rho}$,

где γ – показатель адиабаты ($\gamma=c_p/c_V$ – отношение удельных теплоемкостей газа при постоянных давлении и объеме); R – молярная газовая постоянная; T – термодинамическая температура; M – молярная масса; p – давление газа.

- Акустический эффект Доплера

$$\nu=\frac{v+u_{пр}}{v-u_{ист}}\nu_0 ,$$

где ν – частота звука, воспринимаемого движущимся прибором (или ухом); υ – скорость звука в среде; $u_{пр}$ – скорость прибора относительно среды; $u_{ист}$ – скорость источника звука относительно среды; ν_0 – частота звука, испускаемого источником.

- Амплитуда звукового давления

$$p_0=2\pi\nu\rho\upsilon A,$$

где ν – частота звука; A – амплитуда колебаний частиц среды; υ – скорость звука в среде; ρ – ее плотность.

- Средняя объемная плотность энергии звукового поля

$$\langle w\rangle=\frac{1}{2}\rho\dot{\xi}_0^2=\frac{1}{2}\frac{\rho_0^2}{\rho\upsilon^2}=\frac{1}{2}\rho\omega^2A^2,$$

где $\dot{\xi}_0$ – амплитуда скорости частиц среды; ω – угловая частота звуковых волн.

- Энергия звукового поля, заключенного в некотором объеме V,

$$W=\langle w\rangle V.$$

- Поток звуковой энергии

$$\Phi=W/t ,$$

где W – энергия, переносимая через данную поверхность за время t.

• Интенсивность звука (плотность потока звуковой энергии)

$$I=\Phi/S.$$

• Интенсивность звука связана со средней объемной плотностью энергии звукового поля соотношением

$$I=\langle w\rangle \upsilon\ ,$$

где υ – скорость звука в среде.

• Связь мощности $\boldsymbol{N}$ точечного изотропного источника звука с интенсивностью звука

$$I=N/(4\pi r^2)\ ,$$

где r – расстояние от источника звука до точки звукового поля, в которой определяется интенсивность.

• Удельное акустическое сопротивление среды

$$Z_S=\rho\upsilon.$$

• Акустическое сопротивление

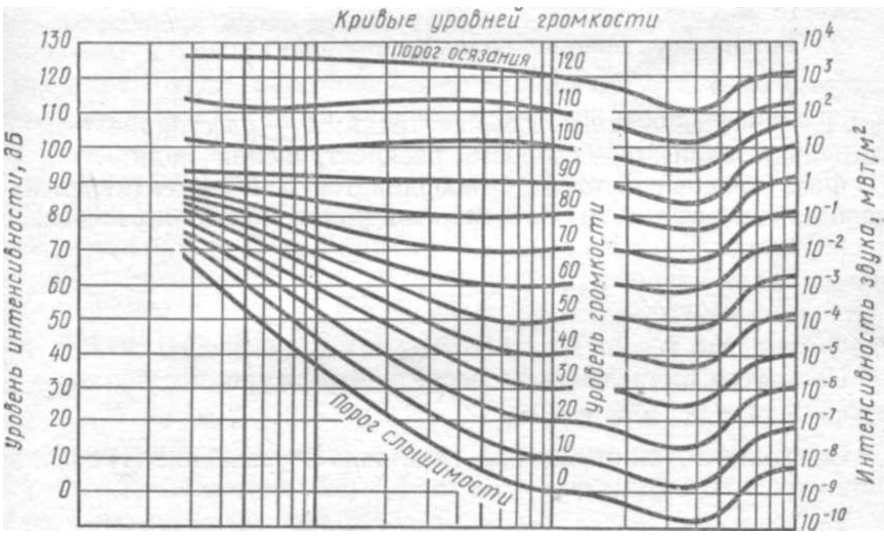
$$Z_a=Z_S/S\ ,$$

где S – площадь сечения участка акустического поля (например, площадь поперечного сечения трубы при распространении в ней звука).

• Уровень интенсивности звука (уровень звуковой мощности) (дБ)

$$L_P=10lg(I/I_0)\ ,$$

где I_0 – условная интенсивность, соответствующая нулевому уровню интенсивности (I_0=1 пВт/м^2).



I_0

10 50 100 500 1000 5000 1000

Частота, Гц.

Рис. 2

• Уровень громкости звука $\boldsymbol{L_N}$ в общем случае является сложной функцией уровня интенсивности и частоты звука и определяется по кривым уровня громкости (рис. 2). На графике по горизонтальной оси отложены логарифмы частот звука (сами частоты указаны под соответствующими им логарифмами). На вертикальной оси отложены уровни интенсивности звука в децибелах. Уровни громкости звука отложены по вертикальной оси, соответствующей эталонной частоте $\nu = 1000$ Гц. Для этой частоты уровень громкости, выраженный в децибелах, равен уровню интенсивности в децибелах. Уровень громкости звуков других частот определяется по кривым громкости, приведенным на графике. Каждая кривая соответствует определенному уровню громкости.

Примеры решения задач

Пример 1. Поперечная волна распространяется вдоль упругого шнура со скоростью $\upsilon = 15$ м/с. Период T колебаний точек шнура равен 1,2 с, амплитуда A=2 см. Определить: 1) длину волны λ; 2) фазу φ колебаний, смещение ξ, скорость $\dot{\xi}$ и ускорение $\ddot{\xi}$точки, отстоящей на расстоянии x=45 м от источника волн в момент t=4 с; 3) разность фаз $\Delta\varphi$ колебаний двух точек, лежащих на луче и отстоящих от источника волн на расстояниях x_1=20 м и x_2=30 м.

Р е ш е н и е. **1**. Длина волны равна расстоянию, которое волна проходит за один период, и может быть найдена из соотношения $\lambda = \upsilon T$. Подставив значения величин υ и T, получим $\boldsymbol{\lambda}$ =18 м.

2. Запишем уравнение волны:

$$\xi(x,t) = A\cos(\omega(t - x/v)), \tag{1}$$

где ξ – смещение колеблющейся точки; x – расстояние точки от источника волн; v – скорость распространения волн.

Фаза колебаний точки с координатой x в момент времени t определяется выражением, стоящим в уравнении волны под знаком косинуса: $\varphi=\omega\left(t-\frac{x}{v}\right)$ или $\varphi=\frac{2\pi}{T}\left(t-\frac{x}{v}\right)$, где учтено, что $\omega=2\pi/T$. Произведя вычисления по последней формуле, получим φ =5,24 рад, или φ=300°. Смещение точки определим, подставив в уравнение (1) значения амплитуды A и фазы φ: ξ=1 см. Скорость $\dot{\xi}$ точки находим, взяв первую производную от смещения по времени: $\dot{\xi} = \frac{d\xi}{dt} = -A\omega \sin\omega\left(t-\frac{x}{v}\right) = \frac{-2\pi A}{T}\sin\omega\left(t-\frac{x}{v}\right) = \frac{2\pi}{T}\sin\varphi$. Подставив значения величин π, A, T, φ и произведя, вычисления, получим $\dot{\xi}$= 9 см/с. Ускорение есть первая производная от скорости по времени, поэтому $\ddot{\xi}=\frac{d\dot{\xi}}{dt} = -A\omega^2\cos\omega\left(t-\frac{x}{v}\right) = \frac{-4\pi^2 A}{T^2}\cos\varphi$. Произведя вычисления по этой формуле, найдем $\ddot{\xi}$=27,4 см/с^2.

3. Разность фаз $\Delta\varphi$ колебаний двух точек волны связана с расстоянием Δx между этими точками соотношением $\Delta\varphi=(2\pi/\lambda)\Delta x=(2\pi/\lambda)(x_2-x_1)$. Подставив значения величин λ, x_2, x_1 и вычислив, получим $\Delta\varphi$ = 3,49 рад, или $\Delta\varphi$ = 200°.

Пример 2. Источник звука частотой ν=18 кГц приближается к неподвижно установленному резонатору, настроенному на акустическую волну длиной λ=1,7 см. С какой скоростью должен двигаться источник звука, чтобы возбуждаемые им звуковые волны вызвали колебания резонатора? Температура T воздуха равна 290К.

Решение. Согласно принципу Доплера, частота ν звука, воспринимаемая прибором (резонатором), зависит от скорости $u_{ист}$ источника звука и скорости $u_{пр}$ прибора. Эта зависимость выражается формулой

$$\nu=\frac{\upsilon+u_{пр}}{\upsilon-u_{ист}}\nu_0, \quad (1)$$

где υ – скорость звука в данной среде; ν_0 – частота звуковых волн, излучаемых источником.

Учитывая, что резонатор остается неподвижным ($u_{пр}$=0), из формулы (1) получим $\nu=\frac{\upsilon}{\upsilon-u_{ист}}\nu_0$, откуда

$$u_{ист}=\upsilon(1-\nu_0/\nu). \quad (2)$$

В этом выражении неизвестны значения скорости υ звука и частоты ν. Скорость звука в газах зависит от природы газа и температуры и определяется по формуле

$$\nu=\sqrt{\gamma RT/M}\ . \quad (3)$$

Чтобы волны, приходящие к резонатору, вызвали его колебания, частота ν воспринимаемых резонатором волн должна совпадать с собственной частотой $\nu_{рез}$ резонатора, т. е.

$$\nu=\nu_{рез}=\upsilon/\lambda_{рез}\ , \quad (4)$$

где $\nu_{рез}$ - длина волны собственных колебаний резонатора.

Подставив выражения υ и ν из равенства (3) и (4) в формулу (2), получим

$$u_{ист}=\upsilon(1-\frac{\nu_0}{\upsilon}\lambda_{рез})=\upsilon-\nu_0\lambda_{рез}, \text{ или } u_{ист}=\sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}-\nu_0\lambda_{рез}.$$

Взяв значения λ=1,4, М=0,029 кг/моль, а также значения R, T, ν_0, $\lambda_{рез}$ и подставив их в последнюю формулу, после вычислений получим
$u_{ист}$ = 36 м/с.

Пример 3. Уровень громкости L_N звука двух тонов с частотами ν_1=50 Гц и ν_2=400 Гц одинаков и равен 10 дБ. Определить уровень интенсивности L_p и интенсивность I звука этих тонов.

Решение. Искомые в задаче уровни интенсивности, соответствующие частотам ν_1=50 Гц и ν_2=400 Гц, определим, пользуясь графиком на рис. 2. Вторая кривая снизу является кривой уровня громкости, равного 10 дБ. Из точек на горизонтальной оси, соответствующих частотам ν_1 и ν_2, восстанавливаем ординаты до кривой уровня громкости в 10 дБ. Значения этих ординат укажут искомые уровни интенсивности: L_{P1}=60 дБ для частоты ν_1= 50 Гц и L_{P2}=20 дБ для частоты ν_2=400 Гц.

Зная уровни интенсивностей L_{P1} и L_{P2}, определим соответствующие им интенсивности I_1 и I_2 по формуле

$$L_p=10\lg (I/ I_0),$$

где I – интенсивность данного звука; I_0 – интенсивность, соответствующая нулевому уровню интенсивности (I_0=1 пВт/м^2). Из приведенной формулы получим

$$\lg I=0{,}1L_p + \lg I_0.$$

Подставив сюда значения L_P и I_0 и учтя, что 1 пВт/м^2=10^{-12}Вт/м^2, найдем для ν_1=50 Гц и ν_2=400 Гц соответственно

$$\lg I_1=0{,}1\cdot 60 + \lg 10^{-12} = 6-12 = -6; \quad I_1= 10^{-6} \text{ Вт/м}^2$$

и

$$\lg I_2= 0{,}1\cdot 20 + \lg 10^{-12} = 2-12 = -10; \quad I_2= 10^{-10} \text{ Вт/м}^2.$$

Эти значения I_1 и I_2 можно получить и по графику, пользуясь шкалой интенсивности звука (на рис. 2 правая шкала).

Сопоставим полученные результаты: интенсивность первого тона в 10^4 раз больше интенсивности второго тона; уровень интенсивности первого тона на 40 дБ больше уровня интенсивности второго тона; уровень громкости обоих тонов одинаков и равен 10 дБ.

Задачи

Уравнение плоской волны

2.1. Задано уравнение плоской волны $\xi(x,t)=A\cos(\omega t-kx)$, где A=0,5 см, ω=628с$^{-1}$, k=2м$^{-1}$. Определить: 1) частоту колебаний ν и длину волны λ; 2) фазовую скорость υ; 3) максимальные значения скорости $\dot{\xi}_{max}$ и ускорения $\ddot{\xi}_{max}$ колебаний частиц среды. (1) 100 Гц, 3,14 м; 2) 314 м/с; 3)3,14 м/с; 1,97·10^3 м/с^2).

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

2.3. Звуковые колебания, имеющие частоту ν=0,5 кГц и амплитуду $\boldsymbol{A}$=0,25 мм, распространяются в упругой среде. Длина волны λ=70 см. Найти: 1) скорость υ распространения волн; 2) максимальную скорость $\dot{\xi}_{max}$ частиц среды. (1) 350 м/с; 2) 0,79 м/с).

2.4. Плоская звуковая волна имеет период T=3 мс, амплитуду A=0,2 мм и длину волны λ= 1,2 м. Для точек среды, удаленных от источника колебаний на расстояние $x=2$ м, найти: 1) смещение $\xi(x,t)$ в момент t=7 мс; 2) скорость $\dot{\xi}$ и ускорение $\ddot{\xi}$ для того же момента времени. Начальную фазу колебаний принять равной нулю. (1) -0,1 мм; 2) 0,363 м/с; 0,439 км/с^2).

2.5. От источника колебаний распространяется волна вдоль прямой линии. Амплитуда A колебаний равна 10 см. Как велико смещение точки, удаленной от источника на x=¾λ, в момент, когда от начала колебаний прошло время t=0,9 T? (5,88 см).

2.6. Волна с периодом T=1,2 с и амплитудой колебаний A=2 см распространяется со скоростью υ=15 м/с. Чему равно смещение $\xi(x,t)$ точки, находящейся на расстоянии x=45 м от источника волн, в тот момент, когда от начала колебаний источника прошло время t=4 с? (-1,73 см).

2.7. Две точки находятся на расстоянии $\Delta x=50$ см друг от друга на прямой, вдоль которой распространяется волна со скоростью $\upsilon=50$ м/с. Период ***T*** колебаний равен 0,05 с. Найти разность фаз Δφ колебаний в этих точках. (1,26 рад).

2.8. Определить разность фаз Δφ колебаний источника волн, находящегося в упругой среде, и точки этой среды, отстоящей на $x=2$ м от источника. Частота ν колебаний равна 5 Гц; волны распространяются со скоростью υ=40 м/с. (1,57 рад).

2.9. Волна распространяется в упругой среде со скоростью υ= 100 м/с. Наименьшее расстояние Δx между точками среды, фазы колебаний которых противоположны, равно 1 м. Определить частоту ν колебаний. (50 Гц).

2.10. Определить скорость υ распространения волны в упругой среде, если разность фаз Δφ колебаний двух точек среды, отстоящих друг от друга на $\Delta x=10$ см, равна π/3. Частота ν колебаний равна 25 Гц. (15 м/с).

2.11. Скорость продольных упругих волн в стальном стержне равна 5100 м/с. Определите модуль упругости стали. (202,86 ГПа).

2.12. Какова скорость продольных упругих волн в ртути? (1340 м/с).

Скорость звука

2.13. Найти скорость υ распространения продольных упругих колебаний в следующих металлах: 1) алюминии; 2) меди; 3) вольфраме. (1) 5,05 км/с; 2) 3,31 км/с; 3) 4,44 км/с).

2.14. Определить максимальное и минимальное значения длины λ звуковых волн, воспринимаемых человеческим ухом, соответствующие граничным частотам ν_1=16 Гц и ν_2=20 кГц. Скорость звука принять равной 340 м/с. (21 м; 17 мм).

2.15. Определить скорость υ звука в азоте при температуре T=300 K. (350 м/с).

2.16. Найти скорость υ звука в воздухе при температурах $T_1=290$ К и $T_2=350$ К. (339 м/с; 375 м/с).

2.17. Наблюдатель, находящийся на расстоянии $\ell=800$ м от источника звука, слышит звук, пришедший по воздуху, на $\Delta t=1{,}78$ с позднее, чем звук, пришедший по воде. Найти скорость υ звука в воде, если температура T воздуха равна 350 К. (1,45 км/с).

2.18. Скорость υ звука в некотором газе при нормальных условиях равна 308 м/с. Плотность ρ газа равна 1,78 кг/м^3. Определить отношение c_p/c_v для данного газа. (1,67).

2.19. Найти отношение скоростей υ_1/υ_2 звука в водороде и углекислом газе при одинаковой температуре газов. (4,8).

2.20. Температура $\boldsymbol{T}$ воздуха у поверхности Земли равна 300 К; при увеличении высоты она понижается на $\Delta T=7$ мК на каждый метр высоты. За какое время звук, распространяясь, достигнет высоты $h=8$ км. (25,8 с).

2.21. От поверхности Земли вертикально вверх распространяются звуковые волны. Через какой отрезок времени t они дойдут до высоты $h=10$ км, если температура воздуха у поверхности Земли равна 16 °С, а градиент температуры в атмосфере равен $k=-0{,}007$ К/м? ($\approx$31 с).

2.22. Скорость продольных звуковых волн в кислороде при нормальных условиях равна $3{,}172\ 10^4$ см/с. Определите отношение c_p/c_v. (1,42).

2.23. Найдите отношение скорости продольных звуковых волн в газе к средней скорости теплового движения молекул в нем. (Скорость звука меньше средней скорости молекул для одноатомного газа в 1,236 раза; для двухатомного − в 1,349 раза).

Суперпозиция волн

2.24. Имеются два источника, совершающие колебания в одинаковой фазе и возбуждающие в окружающей среде плоские волны одинаковой частоты и амплитуды ($A_1=A_2=1$ мм). Найти амплитуду $\boldsymbol{A}$ колебаний точки среды, отстоящей от одного источника колебаний на расстоянии $x_1=3{,}5$ м и от другого - на $x_2=5{,}4$ м. Направления колебаний в рассматриваемой точке совпадают. Длина волны $\lambda=0{,}6$ м. (1,73 мм).

2.25. Стоячая волна образуется при наложении бегущей волны и волны, отраженной от границы раздела сред, перпендикулярной направлению распространения волны. Найти положения (расстояния от границы раздела сред) узлов и пучностей стоячей волны, если отражение происходит: 1) от среды менее плотной; 2) от среды более плотной. Скорость υ распространения звуковых колебаний равна 340 м/с и частота $\nu=3{,}4$ кГц. (1) $\ell_{узл}=(2m+1)\upsilon/(4\nu)$; $\ell_{узл}=2{,}5$, 7,5 12,5 см,…; $\ell_{пучн}=m\upsilon/(2\nu)$;$\ell_{пучн}=0$, 5, 10 см,…; 2) $\ell_{узл}=m\upsilon/(2\nu)$; $\ell_{узл}=$ 0, 5, 10 см,…; $\ell_{пучн}=(2m+1)\upsilon/(4\nu)$; $\ell_{пучн}=2{,}5$, 7,5 12,5 см,…).

2.26. Определить длину λ бегущей волны, если в стоячей волне расстояние ℓ между: 1) первой и седьмой пучностями равно 15 см 2) первым и четвертым узлом равно 15 см. (1) 5 см; 2) 10 см).

2.27. В трубе длиной $\ell=1{,}2$ м находится воздух при температуре Т=300 К. Определить минимальную частоту ν_{min} возможных колебаний воздушного столба в двух случаях: 1) труба открыта; 2) труба закрыта. (1) 144 Гц; 2) 72 Гц).

2.28. Широкая трубка, закрытая снизу и расположенная вертикально, наполнена до краев водой. Над верхним отверстием трубки помещен звучащий камертон, частота ν колебаний которого равна 440 Гц. Через кран, находящийся внизу, воду медленно выпускают. Когда уровень воды в трубке понижается на ΔH=19,5 см, звук камертона усиливается. Определить скорость υ звука в условиях опыта. (343 м/с).

2.29. Один из способов измерения скорости звука состоит в следующем. В широкой трубке A может перемещаться поршень B. Перед открытым концом трубки A, соединенным с помощью резиновой трубки с ухом наблюдателя, расположен звучащий камертон K (рис. 3). Отодвигая поршень B от конца трубки A, наблюдатель отмечает ряд следующих друг за другом увеличении и уменьшении громкости звука. Найти скорость υ звука в воздухе, если при частоте колебаний. ν=440 Гц двум последовательным усилениям интенсивности звука соответствует расстояние $\Delta\ell$ между положениями поршня, равное 0,375 м. (330 м/с).

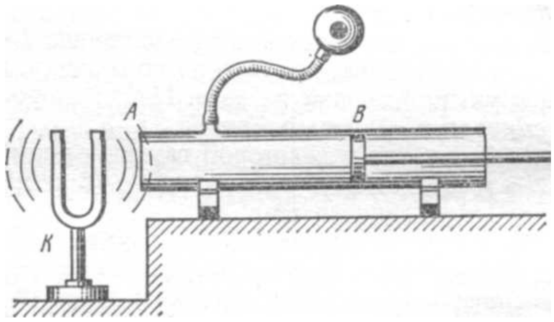


Рис. 3

2.30. На рис. 4 изображен прибор, служащий для определения скорости звука в твердых телах и газах. В латунном стержне $\boldsymbol{A}$, зажатом посередине, возбуждаются колебания. При определенном положении легкого кружочка $\boldsymbol{B}$, закрепленного на конце стержня, пробковый порошок, находящийся в трубке $\boldsymbol{C}$, расположится в виде небольших кучек на равных расстояниях. Найти скорость υ звука в латуни, если расстояние a между кучками оказалось равным 8,5 см. Длина стержня ℓ=0,8 м. ($\upsilon_1=(\ell/a)\upsilon$ = 3,12 км/с).

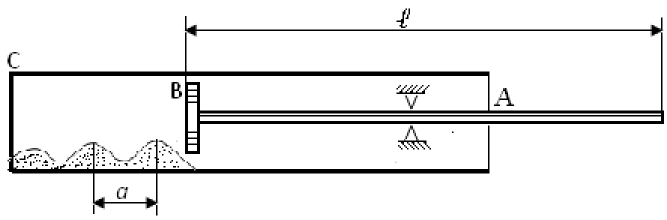


Рис. 4

2.31. Стальной стержень длиной ℓ=1 м, закрепленный посередине, натирают суконкой, посыпанной канифолью. Определить частоту ν возникающих при этом собственных продольных колебаний стержня. Скорость υ продольных волн в стали вычислить. (2,52 кГц).

2.32. Две одинаковые струны длиной по 1 м настроены в унисон. Если одну из струн укоротить на 0,5 см, то струны при звучании дают биения с частотой 2 Гц. Определите частоту тона струны (до укорачивания). (398 Гц).

2.33. На нити образовались стоячие волны, причем расстояния между точками, в которых колебания происходят с амплитудой 3 мм, равны 3 и 7 см. Найдите длину волны и амплитуду в середине пучности. (20 см; 6,6 мм или 3,4 мм).

2.34. В цилиндрической трубе диаметром 5 см, внутри которой находится воздух, распространяются звуковые волны. Интенсивность волн равна 8 10^{-3} Вт/м^2, частота 300 Гц.

а) Какую энергию переносит каждая волна через поперечное сечение трубы за время, равное периоду?

б) Чему равны средняя и максимальная плотности энергии в волнах, если температура воздуха 10 °С? (а) $5{,}2\cdot10^{-8}$ Дж; б) $2{,}4\cdot10^{-5}$ Дж/м^3; $4{,}8\cdot10^{-5}$ Дж/м^3).

2.35. Интенсивность волн на расстоянии 20 м от источника равна 30 $\cdot10^{-6}$Вт/м^2. Какова интенсивность волн на расстоянии 100 м от источника, если коэффициент поглощения равен 5 10^{-5} см$^{-1}$? ($8\cdot10^{-7}$ Вт/м^2).

Электрические колебания. Переменный ток. Электромагнитные волны

Основные формулы

- Дифференциальное уравнение гармонических колебаний заряда на конденсаторе в колебательном контуре

$$\ddot{q}+\omega_0^2 q=0 ,$$

где ω_0 – собственная угловая частота колебаний.

- Уравнение гармонических колебаний

$$q=A\cos(\omega_0 t+\varphi) ,$$

где q– заряд на конденсаторе в колебательном контуре; t – время; A, ω_0, φ – соответственно амплитуда, собственная угловая частота, начальная фаза колебаний.

- Собственная угловая частота колебаний

$$\omega_0 = 2\pi / T \ ,$$

где T – период колебаний.

- Для колебательного контура без активного сопротивления

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \ .$$

- Уравнение затухающих электрических колебаний

$$q = q_0 e^{-\delta t} \cos(\omega t + \varphi) \ ,$$

где q_0 – амплитуда заряда в момент времени t=0, ω – угловая частота затухающих колебаний, δ – коэффициент затухания. В случае электрических колебаний в контуре, содержащем конденсатор емкости C, катушку индуктивности L и резистор сопротивлением R

$$\delta = \frac{R}{2L} \ .$$

- Угловая частота затухающих колебаний

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}.$$

- Логарифмический коэффициент затухания

$$\theta = \delta T.$$

- Эффективные значения силы тока и напряжения:

$$I_{эф}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt \, ; U_{эф}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt \ ,$$

где T – период тока; i, u – мгновенные значения силы тока и напряжения. В тексте задач, где нет специальных оговорок, эффективные значения силы тока и напряжения обозначают буквами I и U без индексов.

Для синусоидального тока

$$I_{эф} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} ; U_{эф} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \ ,$$

где I_m и U_m – амплитуды силы тока и напряжения.

- Средние значения силы тока и напряжения

$$\langle I \rangle = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} i dt \, ; \langle U \rangle = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} u dt \ .$$

Для синусоидального тока

$$\langle I \rangle = \frac{2}{\pi} I_m ; \langle U \rangle = \frac{2}{\pi} U_m \ .$$

- Закон Ома для синусоидального тока

$$I=\frac{U}{Z},$$

где I и U – эффективные значения силы тока и напряжения (или их амплитуды).

- Сопротивление последовательно соединенных резистора сопротивлением R, катушки индуктивностью L и конденсатора электроемкостью C:

$$Z=\sqrt{R^2+\left(\omega L-\frac{1}{\omega C}\right)^2},$$

где ω – циклическая частота.

- Мощность тока при разности фаз φ между напряжением и током:

$$P=I_{эф}U_{эф}cos\varphi .$$

- Активное сопротивление определяет выделяемую мощность:

$$R_a=\frac{P}{I_{эф}^2}=Zcos\varphi .$$

Величина R_a равна омическому сопротивлению R при отсутствии потерь на нагревание железных сердечников вследствие гистерезиса и токов Фуко, на нагревание диэлектриков в переменном электрическом поле и т. д. При наличии этих потерь $R_a > R$. Кроме того, при высоких частотах активное сопротивление R_a увеличивается вследствие того, что практически весь ток идет в поверхностных слоях проводника.

Примеры решения задач

Пример 1. Уравнение изменения со временем тока в колебательном контуре имеет вид $I=-0,02\sin(400\pi t)\ A$. Индуктивность контура $L=1\ Гн$. Найти период T колебаний, емкость C контура, максимальную энергию $W_м$ магнитного поля и максимальную энергию $W_{эл}$ электрического поля.

Решение. Из уравнения для тока следует, что частота колебаний тока $\omega=400\pi$. Поэтому период $T=2\pi/\omega=5\ мс$. Кроме того, период электромагнитных колебаний в контуре рассчитывается по формуле Томсона: $T=2\pi\sqrt{LC}$. Следовательно, емкость контура $C=T^2/(4\pi^2 L)=0,63\ мкФ$. Максимальные энергии электрического и магнитного поля в колебательном контуре равны: $W_{эл}=W_м=LI_{max}^2/2=0,2\ мДж$. Где $I_{\max}=0,02\ A$ – амплитуда тока.

Пример 2. Чему равно эффективное значение силы тока в последовательной RL-цепочке ($R=65,0\ Ом$, $L=50,0\ мГн$), включенной в сеть 120 $В$, 60 $Гц$? Чему равен сдвиг фаз между напряжением и током? Какая мощность рассеивается в цепочке?

Решение. По условию задачи эффективное напряжение $U_{эф}=120\ В$, частота $\nu=60\ Гц$. Причем, $\omega=2\pi\nu$. Полное сопротивление цепи: $Z=\sqrt{R^2+(\omega L)^2}=67,68\ Ом$. Эффективное значение силы тока находим из закона Ома для переменного тока: $I_{эф}=U_{эф}/Z=1,77\ A$. Сдвиг фаз φ между напряжением и током находим из формулы $tg\,\phi=(\omega L)/R=0,29$. Следовательно, $\phi=16^\circ$. Рассеиваемая в цепочке мощность $P=I_{эф}U_{эф}\cos\phi=204\ Вт$.

Пример 3. Чему равна скорость электромагнитной волны (света): а) в воде; б) скипидаре; в) во льду?

Решение. Скорость электромагнитной волны (света) в среде: $v=c/n$, где $c=3\cdot10^8\ м/с$ – скорость света в вакууме; n – показатель преломления вещества. Следовательно, скорость света а) в воде $v_1=c/1,33=2,26\cdot10^8\ м/с$; б) в скипидаре $v_2=c/1,48=2,03\cdot10^8\ м/с$; в) во льду $v_3=c/1,31=2,29\cdot10^8\ м/с$.

Задачи

3.1. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью 0,07 Гн и плоского конденсатора с площадью каждой из обкладок 0,45 м^2, разделенных парафинированной бумагой толщиной 0,1 мм. Определите период свободных колебаний. Сопротивление ничтожно мало. ($4,7\cdot10^{-7}$ с).

3.2. Максимальное напряжение в колебательном контуре, состоящем из катушки индуктивностью L = 5 мкГн и конденсатора электроемкостью C = 0,013 мкФ, равно U_0=1,2 В. Сопротивление ничтожно мало. Определите: а) эффективную силу тока в контуре; б) максимальное значение магнитного потока, если число витков катушки w = 28. (а) $I = U_0\sqrt{\frac{C}{2L}}$ =43 мА; б) $\Phi_{max}=\frac{\sqrt{LC}\,\upsilon_0}{\omega}=1,1\cdot10^{-8}$ Вб).

3.3. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью 30 мкГн и сопротивлением 1 Ом и конденсатора электроемкостью 2,2 нФ. Какую мощность должен потреблять контур, чтобы в нем поддерживались незатухающие колебания, при которых максимальное напряжение на конденсаторе равно 0,5 В? (9,2 мкВт).

3.4. Батарея, состоящая из двух конденсаторов электроемкостью по 2 мкФ каждый, разряжается через катушку (L= 1 мГн; R= 50 Ом). Возникнут ли при этом колебания, если конденсаторы соединены: а) параллельно? б) последовательно? (а) нет; б) да).

3.5. Как изменится логарифмический декремент затухания, если, не меняя длины катушки в контуре, увеличить число витков на ней в n раз (считать, что диаметр витков остается без изменения)? (не изменится).

3.6. Какова относительная погрешность, которая будет сделана, если воспользоваться формулой $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$ для вычисления периода колебания контура, состоящего из конденсатора электроемкостью С = 5,5 нФ и катушки с обмоткой из медной проволоки сечением площадью S = 0,2 мм^2? Длина катушки l= 50 см. Диаметр катушки мал по сравнению с ее длиной. ($2{,}25\cdot10^{-5}$).

3.7. В контуре, состоящем из катушки и конденсатора переменной электроемкости, создаются вынужденные колебания. Если электроемкость увеличить на β=0,01 электроемкости, соответствующей резонансу, то сила тока в контуре убывает в n=1,5 раза. Определите логарифмический декремент затухания. ($\theta = \frac{\pi\beta}{\sqrt{n^2-1(1+\beta)}} =$¿ 0,028).

3.8. Контур состоит из катушки сопротивлением R=14 Ом и индуктивностью L = 10^{-5} Гн и конденсатора электроемкостью С = 0,002 мкФ. Конденсатор С заряжается от батареи аккумуляторов (рис. 5), а затем присоединяется к катушке L.

а) Найдите логарифмический декремент затухания колебаний, которые возникнут в контуре.

б) Какая доля периода соответствует изменению силы тока от нуля до максимального значения?

в) Найдите отношение между энергиями поля в катушке и электрического поля в конденсаторе в момент максимального значения силы тока.

г) Какая доля периода соответствует изменению напряжения от максимального значения до нуля?

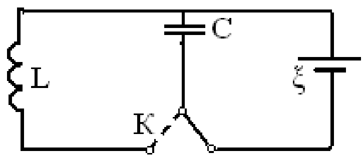


Рис. 5

д) Каково значение I_0 в формуле силы тока $I = I_0 e^{\frac{-R}{2L}t}\sin(\omega t)$, если ЭДС батареи равна 3,5 В? (а) $\theta = 2\pi\sqrt{\frac{CR^2}{4L-CR^2}}$ = 0,2π=0,63; б) 0,24 периода; в) $\frac{L}{CR^2}$ =25; г) 0,26 периода; д) 0,05 А).

3.9. При каком эффективном значении напряжения по обмотке катушки, имеющей омическое сопротивление 35 Ом и индуктивность 0,1 Гн, пойдет ток 3 А? Частота тока 50 Гц. (141 В).

3.10. Какой электроемкости надо взять конденсатор, чтобы его сопротивление было таким же, как у реостата сопротивлением 500 Ом, если частота тока равна: а) 50 Гц? б) 50 000 Гц? (а) 6,4 мкФ; б)0,0064 мкФ).

3.11. В катушке с омическим сопротивлением 10 Ом при частоте 50 Гц получается сдвиг фазы между напряжением и током, равный 60°. Определите индуктивность катушки. (0,055 Гн).

3.12. На картонный цилиндр длиной l = 50 см и диаметром d_2= 5 см навиты ω= 500 витков медного провода диаметром d_1= 0,5 мм. При какой частоте f полное сопротивление такой катушки в n=2 раза больше ее омического сопротивления? (f= $\frac{8\sqrt{n^2-1}\,l\rho}{k\omega\,\mu_0\pi^2 d_2 d_1^2}$,где k- коэффициент, определяющий индуктивность катушки с заданным отношением длины к диаметру).

3.13. Кольцо диаметром d_1 = 10 см, сделанное из медной проволоки диаметром d_2=1 мм, вращается в однородном магнитном поле индукцией B =10^{-3}Тл с частотой n= 10 $с^{-1}$. Индуктивность кольца таких размеров L= 0,35 мкГн.

а) Определите эффективную силу тока в кольце.

б) Какова была бы сила тока в кольце, если бы его сопротивление было близко к нулю (или в случае сверхпроводника)? Пренебречь уменьшением индуктивности из-за скин-эффекта. (а) 0,072А; б) I= $\frac{\sqrt{2}\,Bn\pi d_1^2}{8L}$ =16А независимо от частоты вращения).

3.14. Какой ток пойдет по последовательно соединенным конденсатору (C= 20 мкФ) и резистору (R= 150 Ом), если подать на них переменное напряжение (U= 110 В; f = 50 Гц)? Какие напряжения будут на конденсаторе и на резисторе? (I=0,5А; напряжение на конденсаторе 80 В, на резисторе - 75В).

3.15. По последовательно соединенным катушке и конденсатору электроемкостью 10 мкФ идет ток 1А частотой 50 Гц. Омическое сопротивление катушки 120 Ом. Общее напряжение 220 В. Определите индуктивность катушки. (1,6 Гн).

3.16. К сети переменного тока (120 В; 50 Гц) присоединены параллельно конденсатор (20 мкФ) и катушка (100 Ом; 0,5 Гн). Определите силы тока в конденсаторе, катушке и общую. (0,75 А; 0,64 А; 0,4 А).

3.17. Параллельно соединенные реостат (60 Ом) и катушка (20 Ом; 0,05 Гн) присоединены к сети переменного тока (50 Гц). По катушке идет ток 4 А. Какой ток идет по реостату и чему равен полный ток, идущий от источника? (1,7 А; 5,4 А).

3.18. Катушка, индуктивность которой равна 0,1 Гн, а омическое сопротивление 2 Ом, соединена последовательно с конденсатором. Эта система присоединена к источнику переменного тока.

а) Какова должна быть электроемкость конденсатора, чтобы при частоте 50 Гц по катушке шел наиболее сильный ток?

б) Конденсатор выдерживает напряжение не более 400 В. Какое максимальное напряжение можно дать на эту систему без опасности пробить конденсатор? (а) 100 мкФ; б) 25 В).

3.19. Дроссель и резистор сопротивлением 50 Ом присоединены параллельно к сети синусоидального тока. По дросселю идет ток 2,8 А, по резистору - ток 2,5 А; из сети потребляется ток 4,5 А. Определите мощности, потребляемые дросселем и резистором. (154 Вт; 312 Вт).

3.20. Два конденсатора с емкостями C_1=0,2 мкФ и C_2=0,1 мкФ включены последовательно в цепь переменного тока напряжением U=220 В и частотой ν=50 Гц. Найти ток I в цепи и падение потенциала на первом и втором конденсаторах. (I=4,6 мА; U_1=73,4 В, U_2=146,6 В).

3.21. Конденсатор емкостью C=20 мкФ и резистор, сопротивление которого R=150 Ом, включены последовательно в цепь переменного тока частотой ν=50 Гц. Какую часть напряжения U, приложенного к этой цепи, составляют падения напряжения на конденсаторе U_C и на резисторе U_R? (72,5%, 68,5%).

3.22. В последовательной LR-цепочке (R=160 Ом, L=0,85 мГн) течет ток $I = 3{,}1\cos(377\,t)$, где I выражен в амперах, t – в секундах. Какая мощность в среднем рассеивается в контуре? (770 Вт).

3.23. Чему равно эффективное значение силы тока в последовательной LR-цепочке (R=65,0 Ом, L=50,0 мГн), включенной в сеть 120 В, 60 Гц? Чему равен сдвиг фаз между напряжением и током? Какая мощность рассеивается в цепочке? (1,77 А; 16°; 204 Вт).

3.24. Какова скорость электромагнитных волн в керосине? ($2{,}1\cdot10^{10}$ см/с).

Приложения

Основные физические постоянные

Авогадро число	N_A	$6{,}022\cdot10^{23}$ моль$^{-1}$
Атомная единица массы	а.е.м.	$1{,}66056\cdot10^{-27}$ кг
Боровский радиус	a_A	$0{,}529\cdot10^{-10}$ м
Магнетон Бора	μ_A	$0{,}927\cdot10^{-23}$ Дж/Тл
Масса электрона	m_e	$9{,}109\cdot10^{-31}$ кг
Масса протона, нейтрона	$m_p = 1.673\cdot10^{-27}$ кг, $m_n = 1.675\cdot10^{-27}$ кг	

Постоянная Больцмана	k	$1.381 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
Постоянная газовая	R	8.314 Дж/моль$\cdot$К
Постоянная гравитационная	G, γ	$6.672 \cdot 10^{-11}$ $H \cdot$ м^2/кг^2
Постоянная магнитная	μ_0	$1.26 \cdot 10^{-6}$ Гн/м
Постоянная Планка	$\hbar; h. \hbar = 1.05 \cdot 10^{-34}$ Дж·с; $h = 2\pi\hbar.$	
Постоянная Стефана-Больцмана	σ	$5{,}669 \cdot 10^{-8}$ Вт/м$^2 \cdot K^4$
Постоянная электрическая	ε_0	$8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м
Скорость звука в воздухе	$c_{зв}$	331,46 м/с
Скорость света в вакууме	c	$2{,}9979 \cdot 10^{8}$ м/с
Удельный заряд электрона	e_0/m	$1{,}758 \cdot 10^{11}$ Кл/кг
Ускорение свободного падения	g	9,80665 м/с^2
Элемент. электрич. заряд	e_0	$1{,}602 \cdot 10^{-19}$ Кл

Десятичные приставки к названиям единиц (10^n)

n	Обозна-чение	Название	n	Обозна-чение	Название
12	Т	тера	-2	с	санти
9	Г	гига	-3	м	милли
6	М	мега	-6	мк	микро
3	к	кило	-9	н	нано
2	г	гекто	-12	п	пико
1	да	дека	-15	ф	фемто
-1	д	деци	-18	а	атто

Плотность вещества ρ, 10^3 кг/м^3

Газы (при нормальных условиях)			
Воздух	0,001293	Кислород	0,001429
Углекислый газ	0,001977	Водород	0,00008988
Жидкости			
Бензол	0,88	Спирт	0,79
Керосин	0,80	Ртуть	13,6
Скипидар	0,85	Эфир (20° С)	0,714
Касторовое мас-	0,97	Глицерин	1,21

ло			
Твердые вещества			
Висмут	9,7	Медь	8,9
Вольфрам	19,0	Натрий хлористый	2,17
Гуммигут	1,2	Никель	8,8
Железо (сталь)	7,8	Свинец	11,3
Лед	0,917	Цинк	7,0

Упругость

Материал	Модуль Юнга E, 10^{10} Па	Коэффициент поперечного сжатия	Модуль сдвига G, 10^{10} Па	Модуль всестороннего сжатия, 10^{10} Па
Сталь	20	0,3	8	16,5
Железо	20	0,3	8	
Медь	12	0,35	4,5	13,5
Свинец	1,7	0,38	0,56	
Стекло	5	0,2−0,3		3,0
Дерево	1			
Ртуть				2,5
Вода				0,2

Вязкость η, 10^{-3} Па·с

Воздух при 0 °С	0,018
Кислород при 0 °С	0,0191
Вода при 15 °С	1,1
Касторовое масло при 20 °С	1000
Глицерин при 20 °С	850

Оглавление

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Методические указания
к решению задач по физике
для самостоятельной работы студентов
строительных специальностей
дневной и заочной форм обучения

Составители: к.ф.-м.н. Максим Петрович Сумец,
к.ф.-м.н. Станислав Николаевич Кутищев

Подписано в печать 24.12.2008. Формат 60×84 1/16. Уч.-изд. л. 2,0
Усл.-печ. л. 2,1. Бумага писчая. Тираж 200 экз. Заказ № ______.

Отпечатано: отдел оперативной полиграфии Воронежского государственного архитектурно-строительного университета
394006 Воронеж, 20-летия Октября, 84