

## Задачи для самостоятельного решения

### Тема 9. Уравнение плоской волны. Стоячие волны.

**9.1.** Задано уравнение плоской волны  $\xi(x, t) = A \cos(\omega t - kx)$ , где  $A = 0,5$  см;  $\omega = 628$  с<sup>-1</sup>;  $k = 2$  м<sup>-1</sup>. Определить: 1) частоту колебаний  $\nu$  и длину волны  $\lambda$ ; 2) фазовую скорость  $v$ ; 3) максимальные значения скорости  $\dot{\xi}_{\max}$  и ускорения  $\ddot{\xi}_{\max}$  колебаний частиц среды.

*Ответ:* 1)  $\nu = 100$  Гц,  $\lambda = 3,14$  м; 2)  $v = 314$  м/с; 3)  $\dot{\xi}_{\max} = 3,14$  м/с,  $\ddot{\xi}_{\max} = 1972$  м/с<sup>2</sup>.

**9.2.** Покажите, что выражение  $\xi(x, t) = A \cos(\omega t - kx)$  удовлетворяет волновому уравнению  $\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}$  при условии, что  $\omega = kv$ .

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

*Ответ:* 1)  $\xi(0, t) = A \cos 2\pi \nu t$ ; 2)  $\xi = -2$  мм.

**9.4.** Звуковые колебания, имеющие частоту  $\nu = 0,5$  кГц и амплитуду  $A = 0,25$  мм, распространяются в упругой среде. Длина волны  $\lambda = 70$  см. Найти: 1) скорость  $v$  распространения волн; 2) максимальную скорость  $\dot{\xi}_{\max}$  частиц среды.

*Ответ:* 1)  $v = 350$  м/с; 2)  $\dot{\xi}_{\max} = 0,79$  м/с.

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

*Ответ:* 1)  $\xi(x, t) = -9 \cdot 10^{-5}$  м; 2)  $\dot{\xi}_{\max} = 0,42$  м/с,  $\ddot{\xi}_{\max} = 882$  м/с<sup>2</sup>.

**9.6.** От источника колебаний распространяется волна вдоль прямой линии. Амплитуда  $A$  колебаний равна 10 см. Как велико смещение точки, удаленной от источника на  $x = 3\lambda/4$ , в момент, когда от начала колебаний прошло время  $t = 0,9T$ ?

*Ответ:*  $\xi = 5,88$  см.

**9.7.** Волна с периодом  $T=1,2$  с и амплитудой колебаний  $A=2$  см распространяется со скоростью  $v=15$  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?

*Ответ:*  $\xi=9,4 \cdot 10^{-3}$  м.

**9.8.** Две точки находятся на расстоянии  $x=50$  см друг от друга на прямой, вдоль которой распространяется волна со скоростью  $v=50$  м/с. Период  $T$  колебаний равен  $0,05$  с. Найти разность фаз  $\Delta\phi$  колебаний в этих точках.

*Ответ:*  $\Delta\phi=1,26$  рад.

**9.9.** Определить разность фаз  $\Delta\phi$  колебаний источника волн, находящегося в упругой среде, и точки этой среды, отстоящей на  $x=2$  м от источника. Частота  $\nu$  колебаний равна  $5$  Гц, волны распространяются со скоростью  $v=40$  м/с.

*Ответ:*  $\Delta\phi=1,57$  рад.

**9.10.** Волна распространяется в упругой среде со скоростью  $v=100$  м/с. Наименьшее расстояние  $\Delta x$  между точками среды, фазы колебаний которых противоположны, равно  $1$  м. Определить частоту  $\nu$  колебаний.

*Ответ:*  $\nu=50$  Гц.

**9.11.** Определить скорость  $v$  распространения волны в упругой среде, если разность фаз  $\Delta\phi$  колебаний двух точек среды, отстоящих друг от друга на  $\Delta x=10$  см, равна  $\pi/3$ . Частота  $\nu$  колебаний равна  $25$  Гц.

*Ответ:*  $v=15$  м/с.

**9.12.** Скорость звука в воде  $v=1500$  м/с. На каком расстоянии  $S$  находятся ближайшие точки, колеблющиеся в противофазе, если период колебаний частиц  $T=0,05$  с?

*Ответ:*  $S = \Delta\alpha \frac{vT}{2\pi} = 29$  м.

**9.13.** Найти период колебаний точек волны  $T$ , лежащих на луче, вдоль которого волна распространяется, на расстоянии  $r=0,1$  м друг от друга, если эти точки колеблются в противофазе. Скорость волны  $v=2,4$  м/с.

*Ответ:*  $T = \frac{2\pi r}{\Delta\alpha v} = 0,5$  с.

**9.14.** Человеческое ухо может воспринимать звуки частотой от  $\nu_1=20$  Гц до  $\nu_2=20000$  Гц. Между какими длинами волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$

лежит интервал слышимости звуковых колебаний? С какими амплитудами колеблются частицы воздуха при распространении в нем звуковой волны? Скорость звука в воздухе  $v_{зв}=340$  м/с. Максимальная скорость частиц воздуха  $v_{max}=0,8$  м/с.

*Ответ:*  $\lambda_1 = v_{зв} / \nu_1 = 17$  м,  $\lambda_2 = v_{зв} / \nu_2 = 0,0017$  м,

$$A_1 = \frac{v_{max}}{2\pi\nu_1} = 6,4 \cdot 10^3 \text{ м}, \quad A_2 = \frac{v_{max}}{2\pi\nu_2} = 6,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}.$$

**9.15.** Движение некоторой точки незатухающей волны описывается уравнением  $x = 0,5 \cos 2\pi t$ . Написать уравнение движения точки, лежащей на луче на расстоянии  $r = 30$  см от первой точки, если скорость распространения гребней  $v = 0,6$  м/с.

*Ответ:*  $x = 0,05 \cos \pi(2t - 1)$  м.

**9.16.** Уравнение незатухающих колебаний  $x_1 = 4 \cos 100\pi t$  см. Найти смещение  $x$  от положения равновесия точки, находящейся на расстоянии  $r = 75$  см от источника колебаний, через  $t = 0,01$  с после начала колебаний. Скорость распространения колебаний  $v = 300$  м/с.

*Ответ:*  $x = 0,04 \cos \frac{3\pi}{4} = -0,028$  м.

**9.17.** Поперечная волна распространяется вдоль упруго шнура со скоростью  $v = 15$  м/с. Период колебаний точек шнура  $T = 1,2$  с. Найти волновое число  $k$  и максимальное ускорение точек шнура  $a_m$ . Амплитуда колебаний точек  $A = 0,02$  мм.

*Ответ:*  $k = \frac{2\pi}{vT} = \frac{\pi}{9}$  рад/м,  $a_m = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 A = 5,5 \cdot 10^{-3}$  м/с<sup>2</sup>.

**9.18.** Найти смещение  $x$  от положения равновесия точки в бегущей волне, которая отстоит от источника колебаний на расстоянии  $r = \lambda/12$ , для момента времени  $t = T/6$ , считая от начала колебаний точек. Амплитуда колебаний  $A = 0,05$  м.

*Ответ:*  $x = A\sqrt{3}/2 = 0,04$  м.

**9.19.** Найти координаты узлов и пучностей в стоячей волне для двух случаев: а) волна отражается от более плотной среды; б) волна отражается от менее плотной среды. Длина бегущей волны  $\lambda = 12$  см.

*Указание.* при отражении от более плотной среды в месте отражения наблюдается узел, а при отражении от менее плотной – пучность.

*Ответ:* а) координаты узлов  $x=0; 6; 12; 18; \dots$  см, координаты пучностей  $x=3; 9; 15; \dots$  см; б) наоборот.

**9.20.** Смещение от положения равновесия точки, отстоящей на  $r=4$  см от источника колебаний, в момент времени  $t=\pi/6T$  равно половине амплитуды. Найти длину бегущей волны. Начальная фаза равна нулю.

*Ответ:*  $\lambda=12$  см.

**9.21.** Расстояние между соседними гребнем и впадиной  $S=1,5$  м. Сколько полных колебаний  $N$  сделает поплавок за время  $t=30$  с, упав на спокойную воду пруда, если скорость волны  $v=2$  м/с?

*Ответ:*  $N=vt/(2S)=20$ .

**9.22.** На спокойную поверхность озера с лодки бросили якорь. По водной поверхности от места бросания пошли волны. Наблюдатель на берегу заметил, что волна дошла до него через время  $t_1=40$  с с момента бросания, а за время  $t_2=8$  с было насчитано  $N_1=15$  всплесков о берег. Человек на расстоянии  $S=2$  м насчитал  $N_2=4$  гребня. Чему равно расстояние  $S_0$  от лодки до берега? С какой скоростью  $v$  двигалась волна?

*Ответ:*  $S_0 = S_1 N_1 t_1 / (N_2 t_2) = 37,5$  м,  $v = \frac{S_0}{t_1} = 0,94$  м/с.

**9.23.** Когда наблюдатель воспринял по звуку, что самолет находится у него над головой, он увидел его под углом  $\alpha=45^\circ$  к горизонту. На какой высоте  $H$  над землей летел самолет? Скорость звука  $v_{зв}=340$  м/с. Расстояние  $S$  от наблюдателя до самолета в тот момент, когда он его заметил, равнялось 1 км. Сколько времени  $t$  шел звук от наблюдателя?

*Ответ:*  $H = S \sin \alpha = 700$  м,  $t = H / v_{зв} = 2$  с.

**9.24.** Из орудия произведен выстрел под углом  $\alpha=45^\circ$  к горизонту. Артиллерист услышал звук взрыва через  $t=2$  мин после выстрела. На каком расстоянии  $S$  от орудия разорвался снаряд, упав на землю?

*Ответ:*  $S = v_{зв} \left( t + \frac{v_{зв}}{g} \operatorname{tg} \alpha - \sqrt{\frac{v_{зв}}{g} \left( 2t + \frac{v_{зв}}{g} \operatorname{tg} \alpha \right) \operatorname{tg} \alpha} \right) = 19,5$  км.

**9.25.** Мотоциклист, движущийся по прямолинейному участку дороги, увидел, что человек стоящий у дороги, ударил стержнем по висящему рельсу, а через  $\Delta t=2$  с услышал звук. С какой скоростью  $v$  двигался мотоциклист, если он проехал мимо

человека через  $t = 36$  с после начала наблюдения? Скорость звука в воздухе принять равной  $v_{36} = 340$  м/с.

*Ответ:*  $v = v_{36} \Delta t / (t - \Delta t) = 20$  м/с.

**9.26.** Длина волны в воздухе для самого низкого мужского голоса  $\lambda_1 = 4$  м, а для самого высокого женского голоса  $\lambda_2 = 0,25$  м. Найти разность частот  $\Delta \nu$  колебаний, приняв скорость звука  $v_{36} = 340$  м/с. Найти разность периодов  $\Delta T$  колебаний.

*Ответ:*  $\Delta \nu = v_{36} \left( \frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right) = 1275$  Гц,  $\Delta T = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{v_{36}} = 0,01$  с.

**9.27.** Длина звуковой волны  $\lambda_1 = 3$  м, ее скорость в воздухе  $v_{361} = 340$  м/с. Чему равна длина звуковой волны  $\lambda_2$  в воде, если там ее скорость  $v_{362} = 1400$  м/с.

*Ответ:*  $\lambda_2 = \lambda_1 \frac{v_2}{v_1} = 12$  м.

**9.28.** Найти длину волны  $\lambda$ , если период колебаний частиц  $T = 0,2$  с волна за  $t = 10$  с пробегает  $r = 3$  км.

*Ответ:*  $\lambda = r \frac{T}{t} = 60$  м.

**9.29.** Определить скорость  $v$  распространения волн в упругой среде, если разность фаз колебаний двух точек среды  $\Delta \alpha = 60^\circ$ , а точки отстоят от источника колебаний на расстояниях  $r_1 = 20$  см и  $r_2 = 30$  см и находятся на одном луче. Частота колебаний  $\nu = 25$  Гц.

*Ответ:*  $v = 2\pi \nu \frac{r_2 - r_1}{\Delta \alpha} = 15$  м/с.

**9.30.** Волны распространяются в упругой среде со скоростью  $v = 100$  м/с. Наименьшее расстояние между точками среды, фазы колебаний которых противоположны, равно  $r = 1$  м. Определить частоту колебаний  $\nu$  частиц в волне.

*Ответ:*  $\nu = \Delta \alpha \frac{v}{2\pi r} = 50$  Гц.

## **Тема 10. Звуковые явления. Эффект Доплера в акустике.**

**10.1.** Какова амплитуда колебаний в звуковой волне в воздухе при речи средней громкости (максимальное давление около  $90$  Н/м<sup>2</sup>) при частоте  $400$  Гц? Давление нормальное, температура воздуха  $20^\circ\text{C}$ .

*Ответ:*  $A=8,7 \cdot 10^{-7}$  м.

**10.2.** Какую долю от средней скорости молекул воздуха составляет максимальная акустическая скорость молекул при плоских волнах: а) амплитуда давления  $\Delta p_1=900$  Н/м<sup>2</sup> (сильный звук, вызывающий боль в ушах); б)  $\Delta p_1=9 \cdot 10^{-4}$  Н/м<sup>2</sup> (еле слышный звук).

*Ответ:* а)  $4,7 \cdot 10^{-3}$ ; б)  $4,7 \cdot 10^{-9}$ .

**10.3.** В воздухе при температуре 27°C и при нормальном давлении идет звуковая волна, максимальное давление которой 900 Н/м<sup>2</sup> (сильный звук, вызывающий боль в ушах). Определить температуру в месте максимального давления.

*Ответ:* 27,76°C.

**10.4.** Два звука разнятся по уровню ощущения на 1 дБ. Каково: а) отношение их интенсивностей? б) отношение амплитуд давлений?

*Ответ:* а) 1,26; б) 1,12.

**10.5.** При амплитуде давления 10 Н/м<sup>2</sup> уровень ощущения звука равен 60 дБ. Какова амплитуда давления для звука той же частоты при пороге слышимости?

*Ответ:*  $A=0,01$  Н/м<sup>2</sup>.

**10.6.** Звук распространяется по трубе длиной 50 м. Средний коэффициент поглощения можно принять равным  $10^{-6}$  м<sup>-1</sup>. Каков уровень ощущения звука у конца трубы, если у начала он равен 60 дБ?

*Ответ:* 51,3 дБ.

**10.7.** На расстоянии 10 м от источника звука, размеры которого малы, уровень ощущения звука равен 20 дБ. Пренебрегая затуханием, вычислить: а) уровень ощущения на расстоянии 5 м; б) на каком расстоянии звук не слышен.

*Ответ:* а) 26 дБ; б) 100 м.

**10.8.** Наблюдатель, находящийся на расстоянии 10 м от звучащего камертона, отметил исчезновение звучания камертона на 20 с раньше, чем наблюдатель, находящийся на расстоянии 1 м. Определить коэффициент затухания колебаний камертона.

*Ответ:*  $0,12$  с<sup>-1</sup>.

**10.9.** Определите интенсивность звука (Вт/м<sup>2</sup>), уровень интенсивности  $L$  которого составляет 67 дБ. Интенсивность звука на пороге слышимости  $I_0=10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup>.

*Ответ:*  $I=5,01$  мкВт/м<sup>2</sup>.

**10.10.** Разговор в соседней комнате громкостью 40 фон слышен так, как шепот громкостью 20 фон. Определите отношение интенсивностей этих звуков.

*Ответ:*  $I_1 / I_2 = 100$ .

**10.11.** Определите на сколько фонов увеличился уровень громкости звука, если интенсивность звука увеличилась: 1) в 1000 раз; 2) в 10000 раз.

*Ответ:* 1) на 30 фон; 2) на 40 фон.

**10.12.** Частота основного тона гудка паровоза 650 Гц. Какова кажущаяся частота гудка для наблюдателя, к которому паровоз приближается со скоростью 54 км/ч? Температура воздуха 16°C.

*Ответ:* 680 Гц.

**10.13.** Паровоз, движущийся со скоростью 72 км/ч, дает свисток в течение 2 с. Какова продолжительность звука, воспринятого неподвижным наблюдателем: а) если паровоз приближается к нему? б) если паровоз удаляется от него? Температура воздуха -17°C.

*Ответ:* а) 1,88 с; б) 2,12 с.

**10.14.** а) Наблюдателю, слушающему гудок автомобиля, кажется что при приближении автомобиля основной тон гудка на секунду выше (т.е. частота больше в 9/8 раза), чем при удалении. Определить скорость автомобиля, приняв скорость звука в воздухе равной 340 м/с. Считать воздух неподвижным.

б) Тот же вопрос в случае, если гудок неподвижен, а наблюдатель находится на автомобиле, сначала приближающемся, затем удаляющемся от гудка.

*Ответ:* а) и б) 72 км/ч.

**10.15.** Электропоезд проходит со скоростью 72 км/ч мимо неподвижного приемника и дает гудок, частота которого 300 Гц. Принимая скорость звука равной 340 м/с, определите скачок частоты, воспринимаемый приемником.

*Ответ:*  $\Delta\nu = 35,4$  Гц.

**10.16.** Движущийся по реке теплоход дает свисток частотой  $\nu_0 = 400$  Гц. Наблюдатель, стоящий на берегу, воспринимает звук свистка частотой  $\nu = 395$  Гц. Принимая скорость звука  $\nu = 340$  м/с, определите скорость движения теплохода. Приближается или удаляется теплоход.

*Ответ:*  $\nu_{\text{ист}} = 4,3$  м/с, теплоход удаляется.

**10.17.** Поезд проходит со скоростью 54 км/ч мимо неподвижного приемника и подает звуковой сигнал. Приемник воспринимает скачок частотой  $\Delta\nu=53$  Гц. Принимая скорость звука равной 340 м/с, определите частоту тона звукового сигнала гудка поезда.

*Ответ:*  $\nu_0=599$  Гц.

**10.18.** Два катера движутся навстречу друг другу. С первого катера, движущегося со скоростью  $\nu_1=10$  м/с, посылается ультразвуковой сигнал частотой  $\nu_1=50$  кГц, который распространяется в воде. После отражения от второго катера сигнал принимается первым катером с частотой  $\nu_2=52$  кГц. Принимая скорость распространения звуковых колебаний в воде равной 1,54 км/с, определите скорость движения второго катера.

*Ответ:*  $\nu_2=20,2$  м/с.

**10.19.** Плотность  $\rho$  некоторого двухатомного газа при нормальном давлении равна  $1,78$  кг/м<sup>3</sup>. Определите скорость распространения звука в газе при этих условиях.

*Ответ:*  $\nu=282$  м/с.

**10.20.** Средняя квадратичная скорость  $\bar{\nu}_{\text{кв}}$  молекул двухатомного газа при некоторых условиях составляет 480 м/с. Определите скорость  $\nu$  распространения звука в газе при тех же условиях.

*Ответ:*  $\nu=328$  м/с.

**10.21.** Во сколько раз скорость распространения звука в воздухе  $\nu_1$  летом, когда температура  $t_1^\circ=27$  °С, больше скорости распространения  $\nu_2$  его зимой, когда температура воздуха  $t_2^\circ=-23$  °С?

*Ответ:*  $\nu_1/\nu_2 = \sqrt{T_1/T_2} = 1,1$ .

**10.22.** Найти скорость распространения  $\nu$  звука в двухатомном газе, где плотность  $\rho=1,3 \cdot 10^{-3}$  г/см<sup>3</sup> при нормальном атмосферном давлении  $p=1 \cdot 10^5$  Па.

*Ответ:*  $\nu=328$  м/с.

## **Тема 11. Энергия упругой волны. Амплитуда звуковой волны.**

**11.1.** По цилиндрической трубке диаметром 5 см бегут синусоидальные воздушные волны. Интенсивность волн равна 8



эрг/см<sup>2</sup>·с, частота 300 Гц. а) Какую энергию несет каждая волна? б) Какова средняя и максимальная плотность энергии в волнах, если температура воздуха равна 10<sup>0</sup>С?

*Ответ:* а) 0,52 эрг, б)  $2,4 \cdot 10^{-4}$  эрг/см<sup>3</sup>;  $4,8 \cdot 10^{-4}$  эрг/см<sup>3</sup>.

**11.2.** Точечный изотропный источник звуковых волн мощности  $N$  находится на перпендикуляре, восстановленном из центра воображаемого диска радиуса  $R$ , на расстоянии  $a$  от диска. Найти средний за период поток энергии через поверхность диска.

*Ответ:* 
$$\Phi_0 = \frac{N}{2} \cdot \left[ 1 - \frac{a}{\sqrt{(a^2 + R^2)}} \right].$$

**11.3.** Найти энергию упругой стоячей волны в однородном тонком стержне массой  $m$ , один из концов которого закреплен, если на свободном конце созданы колебания с собственной частотой  $\nu_n$  и амплитудой  $a$ .

*Ответ:* 
$$W = \rho a^2 \omega_n^2 S l = 4\pi^2 \nu_n^2 a^2 m.$$

**11.4.** Плоская волна  $\xi = a \cos(\omega t - kz)$  распространяется в упругой среде плотностью  $\rho$ . Найти средний за период колебаний поток энергии плоской волны через поверхность полусферы, задаваемой уравнением  $z = \sqrt{R^2 - x^2 - y^2}$ .

*Ответ:* 
$$\Phi_{cp} = \frac{2\pi a^2 \omega^3 \rho}{k} \int_0^R z dz = \frac{\pi a^2 \omega^3 R^2 \rho}{2k}.$$

**11.5.** Источник звука небольших размеров имеет мощность 1 Вт при частоте  $\nu = 400$  Гц. Считая, что звук распространяется от источника одинаково во все стороны в воздухе, находящемся при нормальных условиях, и пренебрегая поглощением звука, определить амплитуду звукового давления, а также амплитуды скорости и смещения частиц воздуха на расстоянии  $r = 100$  м от источника звука.

*Ответ:*  $\Delta P_0 = 8,3 \cdot 10^2$  Па;  $v_0 = 1,9 \cdot 10^{-4}$  м/с;  $A = 7,6 \cdot 10^{-8}$  м.

**11.6.** Интенсивность волн на расстоянии 20 м от источника равна 0,03 эрг/см<sup>2</sup>·с. Какова интенсивность волн на расстоянии 100 м от источника, если коэффициент затухания равен  $5 \cdot 10^{-5}$  см<sup>-1</sup>?

*Ответ:*  $8 \cdot 10^{-4}$  эрг/см<sup>2</sup>·с.

**11.7.** Найти амплитудное значение  $(\Delta P)_m$  превышения давления газа над равновесным  $P_0$  при распространении звуковой волны

$\xi(x,t) = a \cdot \cos(\omega t - kx)$  в газе. Построить графики  $\xi(x)$  и  $\Delta p(x)$  в момент времени  $t = 0$ . (Постоянная  $\gamma$  газа известна).

*Ответ:*  $(\Delta P)_m = \gamma P_0 a k$

**11.8.** По цилиндрической трубке диаметром  $d = 20$  см и длиной  $L = 5$  м, заполненной сухим воздухом, распространяется звуковая волна средней за период интенсивностью  $I = 50$  мВт/м<sup>2</sup>. Найти энергию  $W$  звукового поля, заключенного в трубке.

*Ответ:* 23,7 мкДж.

**11.9.** На пути плоской не затухающей звуковой волны, распространяющейся в воздухе с плотностью  $\rho_0$ , мысленно помещают диск радиуса  $R$ , ориентированный под углом  $\theta$  к направлению распространения волны. Какая энергия переносится волной через площадь диска за время  $\tau$ , большое по сравнению с периодом колебаний? Амплитуда давления  $(\Delta P)_m$  в волне и ее скорость  $v$  известны.

*Ответ:*  $\Delta W = \frac{(\Delta P)_m^2 \pi R^2 \tau \cos \theta}{2 \rho_0 v}$ , где  $v$  - скорость звука.

**11.10.** Амплитуда колебаний давления звуковой волны  $\Delta P = 100$  дин/см<sup>2</sup> (громкий звук). Найти поток энергии  $J$ , попадающий за 1 с в ухо человека. Считать площадь  $S$  уха равной 4 см<sup>2</sup> и ухо перпендикулярным к направлению распространения волны. Плотность воздуха  $\rho = 1,3 \cdot 10^{-3}$  г/см<sup>3</sup>, скорость звука 334 м/с.

*Ответ:*  $J = \frac{\Delta P^2 S}{2 \rho v} \approx 460$  эрг/с =  $4,6 \cdot 10^{-5}$  Вт.

**11.11.** В точке  $O$  однородной среды находится точечный изотропный источник звука мощностью  $P = 1,7$  Вт. Найти среднюю (по времени) энергию упругих волн в области, ограниченной сферой радиуса  $R = 5,0$  м с центром в точке  $O$ , если скорость волн  $v = 340$  м/с и их затухание пренебрежимо мало.

*Ответ:*  $W = 25$  мДж.

**11.12.** Точечный изотропный источник звука находится на перпендикуляре к плоскости кольца, проходящем через его центр  $O$ . Расстояние между точкой  $O$  и источником  $l = 100$  см, радиус кольца  $R = 50$  см. Найти средний поток энергии сквозь кольцо, если в точке  $O$  интенсивность звука  $I_0 = 30$  мкВт/м<sup>2</sup>. Затухания волн нет.

*Ответ:*  $\langle \Phi \rangle = 20$  мкВт.

**11.13.** Изотропный точечный источник, звуковая мощность которого  $P = 0,10$  Вт, находится в центре круглого полого

цилиндра радиуса  $R = 1,0$  м и высоты  $h = 2,0$  м. Полагая, что стенки цилиндра полностью поглощают звук, найти средний поток энергии, падающий на боковую поверхность цилиндра. Затухания волн нет.

*Ответ:*  $\langle \Phi \rangle = 0,07$  Вт.

**11.14.** Найти звуковую мощность точечного изотропного источника, если на расстоянии  $r = 7,5$  м от него среднее значение плотности потока энергии  $\langle j \rangle = 6,3$  мВт/м<sup>2</sup> и коэффициент затухания волны  $\gamma = 0,10$  м<sup>-1</sup>.

*Ответ:*  $P = 20$  Вт.

**11.15.** На расстоянии  $r = 10$  м от точечного изотропного источника звука среднее значение плотности потока энергии  $\langle j \rangle = 5,0$  мВт/м<sup>2</sup>. Коэффициент затухания волны  $\gamma = 0,015$  м<sup>-1</sup>. Какая энергия поглощается за  $t = 5,0$  с в области, ограниченной сферой радиуса  $r$ , в центре которой находится источник?

*Ответ:*  $W = 11$  Дж.

**11.16.** Два точечных синфазных источника звука  $A$  и  $B$  имеют одинаковую мощность и находятся на расстоянии  $2l$  друг от друга. Нас интересует средняя (по времени) объемная плотность  $\langle w \rangle$  звуковой энергии в плоскости, перпендикулярной отрезку  $AB$  и проходящей через его середину  $O$ . На каком расстоянии от точки  $O$  величина  $\langle w \rangle$  максимальна? Поглощение пренебрежимо мало.

*Ответ:*  $x_m = l$ .

**11.17.** Вывести зависимость между интенсивностью звука, распространяющегося со скоростью  $v$  в среде плотностью  $\rho$ , и амплитудой звукового давления  $\Delta p$ ?

*Ответ:*  $I = (\Delta p)^2 / (2\rho v)$ .

**11.18.** Звуковые колебания в воздухе распространяются с амплитудой давления  $10$  дин/см<sup>2</sup>. Найти интенсивность этих волн при нормальных условиях.

*Ответ:*  $1,18 \cdot 10^{-3}$  Дж/м<sup>2</sup>.

**11.19.** Источник звука, дающий колебания с частотой  $2$  кГц, помещен под воду. Найти поток энергии от такого источника, если амплитуда смещения молекул воды равна  $2,5 \cdot 10^{-5}$  м. Плотность воды  $1000$  кг/м<sup>3</sup>, скорость звука в воде  $1450$  м/с. Найти максимальную скорость колебания молекул воды.

*Ответ:*  $7,1 \cdot 10^4$  Вт/м<sup>2</sup>;  $0,314$  м/с.

**11.20.** Поток энергии, приходящий в  $1$  с к микрофону, имеющему площадь приемника  $2$  см<sup>2</sup>, равен  $4 \cdot 10^{-5}$  Дж/с.

Определить амплитуду звуковой волны, если плотность среды (воздуха) равна  $1,3 \cdot 10^{-3}$  г/см<sup>3</sup>, скорость звука 340 м/с.

*Ответ:* 13,3 Н/м<sup>2</sup>.

**11.21.** Во сколько раз время реверберации (время, в течение которого энергия звука уменьшится в  $10^6$  раз) в помещении с кирпичными стенами (коэффициент поглощения 0,025) больше времени реверберации в том же помещении, но со стенами, покрытыми коврами (коэффициент поглощения 0,20)?

*Ответ:* В восемь раз.