

## Задание 11-12 ВОЛНЫ. Механические волны. Звук

### Задачи простые

A1\*. По поверхности воды в озере волна распространяется со скоростью **6 м/с**. Каковы период и частота, колебаний бакена, если длина волны **3 м**?

A2\*. Рыболов заметил, что за **10 с** поплавок совершает на волнах **20** колебаний, а расстояние между соседними горбами волны **1.2 м**. Какова скорость распространения волн?

A3\*. Определите длину звуковой волны в воде, вызываемой источником с частотой колебаний **200 Гц**, если скорость звука в воде равна **1450 м/с**.

A4\*. При измерении глубины моря под кораблем при помощи эхолота оказалось, что моменты отправления и приема ультразвука разделены промежутком времени **0.6 с**. Какова глубина моря под кораблем?

A5\*. Два когерентных источника волн колеблются в одинаковых фазах. Каков результат интерференции на прямой, перпендикулярной середине отрезка, соединяющего источники? Каким будет результат интерференции, если источники колеблются в противофазах?

A6\*. В некоторой точке разность хода двух когерентных волн с одинаковыми амплитудами равна **3 см**. Длина волн равна **4 см**. Каков результат интерференции?

A7\*. Узлы стоячей волны, создаваемой камертоном в воздухе, отстоят друг от друга на расстоянии **40 см**. Найдите частоту колебаний камертона. Скорость звука в воздухе равна **340 м/с**.

A8\*. Как изменится частота основного тона струны если: а) середину струны прижать пальцем к грифу; б) увеличить натяжение струны; в) уменьшить натяжение струны?

### Задачи средние

B1\*. По шнуру бежит незатухающая гармоническая волна, так что поперечное смещение точки **O** шнура изменяется по закону  $y = A \cos(\omega t)$ . По какому закону изменяется смещение  $y$  точки **X**, расположенной на расстоянии  $x$  от точки **O**? Волна бежит от **O** к **X** со скоростью  $V$ .

B2\*. Волны распространяются со скоростью **360 м/с** при частоте, равной **450 Гц**. Чему равна разность фаз двух точек, отстоящих друг от друга на **20 см**?

B3. В движущейся области деформации (бегущей волне), сохраняющей свою форму при перемещении по стержню, кинетическая энергия частиц равна упругой потенциальной. Определите скорость волны через модуль Юнга  $E$  и плотность  $\rho$  материала стержня.

B4. Тонкую струну заменяли струной из того же материала, но имеющей вдвое больший диаметр. Во сколько раз нужно изменить натяжение струны, чтобы частота колебаний струны не изменилась?

B5\*. Найдите собственные частоты колебаний стальной струны длины **50 см**, диаметра **1 мм**, если натяжение струны **0.1 Н**. Плотность стали **7.8 г/см<sup>3</sup>**.

B6\*. С какой силой нужно натянуть гитарную струну длины  $l = 60$  см и линейной плотности  $\mu = 0.1$  г/см, чтобы она звучала с частотой  $\nu = 100$  Гц на первой гармонике, т.е. на первой резонансной частоте?

B7. Объясните почему, если звучащий на первой гармонике стержень взять рукой, он почти сразу перестает звучать. В каком месте нужно взять стержень, чтобы этот эффект проявился наиболее слабо? Наиболее сильно?

B8\*. Согласно принципу Гюйгенса каждая точка фронта волны является источником вторичных сферических волн, огибающая которых дает новый фронт волны. Покажите, что в однородной среде плоский фронт звуковой волны перемещается со скоростью звука. Как распространяется цилиндрический фронт? Сферический?

B9. Область повышенного давления на границе сред распространяется вправо со скоростью  $V$ , большей скорости звука  $U$  в среде. Какова форма фронта волны в среде? Каково направление его распространения?

B10\*. Когда самолет летит с дозвуковой скоростью, на земле слышен звук его двигателей. Если же пролетает самолет со сверхзвуковой скоростью, то сначала слышен громкий хлопок, а затем уже шум двигателей. С чем это связано?

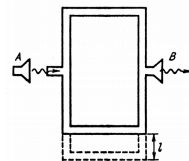
B11. Как изменяются частота и длина волны звука а) при переходе воздуха в воду; б) при переходе из воды в воздух.

### ° - задачи с рисунком, \* - задачи для решения дома

B12\*. Звуковые колебания частоты  $\nu$  имеют в первой среде длину волны  $\lambda_1$ , а во второй среде - длину волны  $\lambda_2$ . Как изменяется скорость распространения этих колебаний при переходе из первой среды во вторую, если  $\lambda_1 = 2\lambda_2$ ?

B13. В некоторой точке пространства разность хода двух когерентных волн с одинаковыми амплитудами колебаний равна **15 см**, а длина волны равна а) **5 см**; б) **10 см**. Каков результат интерференции этих волн?

B14\*. Два когерентных источника звука колеблются в одинаковых фазах. В точке, отстоящей от первого источника на **2 м**, а от второго на **2.5 м**, звук не слышен. Определите частоту колебаний источников.



К задаче B15

B15°. Прибор для демонстрации интерференции звука (см. рис.) имеет два одинаковых звукопровода - верхний и нижний. На какое минимальное расстояние  $l$  нужно опустить (удлинить) нижний звукопровод, чтобы максимально ослабить звучание рупора **B** на частоте  $\nu = 100$  Гц?

B16. Первая резонансная частота открытой с обеих сторон органной трубы равна **300 Гц**. Чему равна первая резонансная частота такой же трубы, закрытой с обоих концов? Закрытой с одного конца?

B17. Камертон колеблется с частотой **440 Гц**. Какую минимальную длину может иметь резонаторный ящик ("подставка" камертона) для усиления звука? Не противоречит ли закону сохранения энергии тот факт, что из двух одинаковых камертонов, возбужденных одинаковыми по силе ударами, на много громче звучит тот, который установлен на резонаторе?

B18\*. Определите первую резонансную частоту колебаний воздуха между двумя параллельными зданиями, находящимися на расстоянии  $L = 20$  м друг от друга. Высота зданий заметно больше этого расстояния. Скорость звука в воздухе  $U = 330$  м/с.

B19\*. Расстояние между гребнями волн в море **5 м**. При встречном движении катера волна за **1 с** ударяет о корпус катера **4** раза, а при попутном - **2** раза. Найдите скорость катера и волны. Если известно, что скорость катера больше скорости волны.

B20\*. Покоящийся источник испускает по всем направлениям звуковую волну длины  $\lambda_0$ . Как изменится длина волны, если источник привести в движение со скоростью, равной половине скорости звука? Как изменится частота воспринимаемого звука, если источник по прямой а) сближается с неподвижным приёмником; б) удаляется от неподвижного источника?

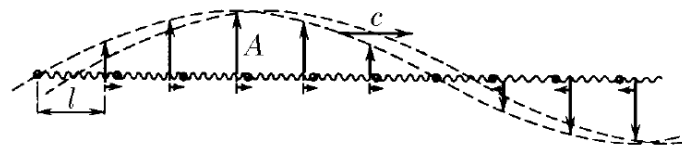
B21. С какой скоростью должен двигаться по направлению к слушателям оперный певец, поющий низким басом (частота  $\sim 100$  Гц, чтобы им казалось, что он — высокий тенор (частота  $\sim 400$  Гц)? Возможно ли это? А если нет, то почему, и как это можно было бы реализовать?

### Задачи сложные

V1. Область продольной деформации  $\epsilon$  движется по стержню со скоростью  $U$  вправо. Площадь сечения стержня  $S$ , плотность материала  $\rho$ . Какова скорость изменения импульса частиц стержня в области справа от выделенного сечения?

V2. В газе распространяется ударная волна, в которой давление  $P$  и плотность  $\rho$  газа сильно превосходят давление  $P_0$  и плотность  $\rho_0$  невозмущенного газа. Найдите по этим данным скорость распространения ударной волны.

V3\*. По цепочке шариков массы  $m$  каждый (см. рис), связанных пружинами длины  $l$  и жесткости  $k = m\omega_0^2$ , бежит продольная синусоидальная волна, частоты  $\nu$ . Продольные смещения шариков отложены на рисунке по вертикали в увеличенном масштабе. Амплитуда смещений  $A$  много меньше  $l$ . Найдите скорость распространения этой волны. Получите скорость этой волны в низкочастотном пределе ( $2\pi\nu \ll \omega_0$ ) через  $l$  и  $k$ , а затем через модуль Юнга  $E$  и плотность вещества  $\rho$ , рассматривая шарики как аналог атомов вещества. Оцените  $\omega_0$  для железа.



К задаче V3

### Задание 11-12 ВОЛНЫ. Механические волны. Звук

V4. Воду, текущую по водопроводной трубе со скоростью  $2 \text{ м/с}$ , быстро перекрывают жесткой заслонкой. Определите силу, действующую на заслонку при остановке воды, если скорость звука в воде  $1.4 \text{ км/с}$ . Сечение трубы  $5 \text{ см}^2$ .

V5\*. Над цилиндрическим сосудом высотой  $H = 1 \text{ м}$  звучит камертон, имеющий собственную частоту колебаний  $\nu = 50 \text{ Гц}$ . В сосуд медленно наливают воду. При каких положениях уровня воды в сосуде звучание камертона значительно усиливается?

V6\*. Из пункта  $A$  в пункт  $B$  был послан звуковой сигнал частоты  $\nu = 50 \text{ Гц}$ , распространяющийся со скоростью  $U = 340 \text{ м/с}$ . При этом на расстоянии от  $A$  до  $B$  укладывалось целое число волн. Опыт повторили, когда температура была на  $20 \text{ К}$  выше, чем в первом случае. При этом число волн, укладывающихся на расстоянии от  $A$  до  $B$ , уменьшилось на две. Найдите расстояние между пунктами  $A$  и  $B$ , если при повышении температуры на  $1 \text{ К}$  скорость звука увеличивается на  $0.5 \text{ м/с}$ .

V7\*. Труба длины  $l = 1 \text{ м}$  заполнена воздухом при нормальном атмосферном давлении. Один раз труба открыта с одного конца, другой раз - с обоих концов и в третий раз закрыта с обоих концов. При каких минимальных частотах в трубе будут возникать стоячие звуковые волны в указанных случаях? Скорость звука в воздухе  $U = 340 \text{ м/с}$ .

V8. Исходя из соображений размерностей, определите скорость распространения волн на поверхности жидкости с учетом только а) силы тяжести (длинные поверхностные гравитационные волны); б) сил поверхностного натяжения (короткие поверхностные волны). Предполагается, что глубина жидкости в сосуде  $H \gg \lambda$  и амплитуда колебаний частиц в волне  $a \ll \lambda$  ( $\lambda$  - длина волны).

V9\*. Определите амплитуду скорости, смещения и давления в звуковой волне частоты  $1 \text{ кГц}$  в области порога болевых ощущений (интенсивность волны  $1 \text{ Вт/м}^2$ ) и вблизи порога слышимости (интенсивность волны  $10^{-12} \text{ Вт/м}^2$ ).

V10. Оцените, при какой интенсивности ультразвука в воде при атмосферном давлении начнут появляться вакуумные микрополости?

V11\*. От точечного монохроматического источника  $S_1$  отодвигают точечный монохроматический источник  $S_2$  до тех пор, пока в некоторой точке  $O$  не исчезнут колебания среды. На сколько нужно передвинуть приёмник из точки  $O$  к источнику  $S_1$ , чтобы колебания среды опять исчезли? Источники излучают волны одинаковой частоты. Расстояние между источниками равно  $2 \text{ мм}$ , а от источника  $S_1$  до точки  $O$  -  $9 \text{ м}$ .

V12\*. Шарик радиуса  $R$  совершает гармонические радиальные колебания ("дышит") с частотой  $\nu$  и амплитудой  $A$  в жидкости плотность которой  $\rho$ . С какой в среднем за период энергией излучается волна? Как меняется амплитуда колебаний давления жидкости по мере удаления от шарика, если скорость волны в жидкости равна  $U$ ? Считать  $A \gg R$ .

V13. На бесконечный стержень в некотором сечении действует внешняя продольная сила  $F = F_0 \cos(\omega t)$ . Какие волны скорости и деформации возникают в стержне? Сечение стержня  $S$ , плотность его материала  $\rho$ , скорость волны в стержне  $U$ .

V14. Какова скорость продольных волн в стальном стержне, если модуль Юнга стали  $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$ , а плотность  $\rho = 7.8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ . Подумайте, почему скорость продольных волн в листовой стали больше, чем в тонких стальных стержнях?

V15\*. В двух сечениях бесконечного стержня действуют две внешние продольные силы. Сила с левой стороны меняется по закону  $F_1 = F_0 \cos(\omega t)$ , а сила с правой - по закону  $F_2 = F_0 \sin(\omega t)$ . При каком расстоянии  $l$  между источниками силы бегущая волна будет распространяться только слева направо? Только справа налево?

V16. В свободном стержне длины  $L$ , на конец которого действует с частотой  $\nu$  гармоническая сила, образуется стоячая волна с длиной волны  $\lambda$ . Где находятся узлы напряжений этой волны? Какова амплитуда вынуждающей силы, если амплитуда напряжений в стоячей волне равна  $\sigma_0$ , а сечение стержня равно  $S$ ?

V17\*. Найдите собственные частоты продольных колебаний стального стержня длины  $1 \text{ м}$ . За какие точки нужно подвесить этот стержень, чтобы затухание колебаний третьей резонансной частоты было минимальным?

V18\*. Стальной стержень длины  $1 \text{ м}$  ударяется торцом о жесткую неподвижную стенку. Его первоначальная скорость  $100 \text{ м/с}$ . Какое

° - задачи с рисунком, \* - задачи для решения дома

давление он оказывает на стенку? Какие волны побегут по стержню? Чему равно время контакта? Какова конечная скорость стержня?

V19\*. На плоскую границу раздела двух сред со скоростью звука  $U_1$  под углом  $\alpha$  к нормали падает плоская волна. Найдите направление распространения отраженной и преломленной волны, если скорость распространения волны во второй среде равна  $U_2$ .

V20\*. Длина волны, прошедшей через плоскую границу раздела из одной среды во вторую, сокращается во столько же раз, во сколько уменьшается во второй среде скорость распространения волны. Используя этот факт, а также закон сохранения энергии и импульса, определите, во сколько раз амплитуда отраженной волны и волны, прошедшей во вторую среду, меньше амплитуды падающей волны. Плотность и модуль упругости сред равны соответственно  $\rho_1, E_1$  и  $\rho_2, E_2$ .

V21. При достаточно пологом падении плоской звуковой волны на границу раздела двух сред из среды, в которой скорость звука больше, во второй среде не образуется преломленной волны. Это явление называется полным внутренним отражением. Найдите угол полного внутреннего отражения, если скорость звука в этих средах равна  $U_1$  и  $U_2$  ( $U_1 < U_2$ ).

V22\*. Вдоль оси  $x$  в воздухе распространяется плоская звуковая волна. Коэффициент поглощения  $\gamma = 2.07 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1}$ . В плоскости  $x = 0$  уровень громкости звука равен  $L_0 = 100 \text{ дБ}$ . Найдите уровень громкости на расстоянии  $2 \text{ км}$ . Как изменится ответ, если волна сферическая?

V23. Частота собственных колебаний камертона равна  $\nu_0$ . Какой частоты звук мы услышим, если будем звучащий камертон приближать к уху со скоростью  $V$ ?

V24\*. Морские волны движутся со скоростью  $V$  и набегают на берег с частотой  $\nu_0$ . Волновой фронт параллелен береговой линии. С какой частотой  $\nu$  волны ударяются о катер, идущий от берега со скоростью  $U$ , направленной под углом  $\alpha$  к береговой линии? Каким станет ответ, если катер изменит направление движения на противоположное?

V25\*. По прямому участку дороги движется в одном направлении с одинаковой скоростью  $90 \text{ км/ч}$  два автомобиля (второй позади первого). Когда вдали показался едущий со скоростью  $72 \text{ км/ч}$  третий автомобиль, водитель первого дал звуковой сигнал частоты  $700 \text{ Гц}$ . Звук какой частоты воспримут во второй и третьей машинах? Температура воздуха  $30^\circ \text{ C}$ .

### Теория

1. Г.Я. Мякишев – Колебания и волны. §§ 4.1-4.20.
2. Б.М. Яворский, А.А. Пинский – Основы физики Т.2. §§ 55.1-57.5, 58.1-58.6.
3. Е.И. Бутиков, А.С. Кондратьев - Физика для углублённого изучения. Т.1. Механика. §§ 46-47.
4. Г.С. Ландсберг - Элементарный учебник физики Т.3. §§ 18-25, 33-53.
5. Д. Джанколи - Физика. Т.1. §§ 15.1-16.8.