

Механические волны

Данный листок посвящён задачам распространения механических волн в упругой среде — звуковых волн или волн на поверхности воды.

ЗАДАЧА 1. («Росатом», 2017, 11) Автомобиль, движущийся по прямому шоссе, издаёт продолжительный звуковой сигнал. Датчики, распложенные по и против хода движения автомобиля, зарегистрировали длительности сигнала Δt и $1,05\Delta t$. Какую длительность сигнала зарегистрировал расположенный по, а какую — против направления движения автомобиля? Найти скорость автомобиля, если скорость звука в воздухе равна c .

$$\frac{1\text{л}}{\text{с}} = a$$

ЗАДАЧА 2. (*Эффект Доплера*) Вам наверняка известно следующее явление. Вы стоите на железнодорожной платформе, и проходящий мимо поезд издаёт предупреждающий гудок. В тот момент, когда поезд проносится мимо вас, тон гудка скачком меняется на более низкий; иными словами, частота звуковых волн от удаляющегося поезда меньше, чем от приближающегося.

Пусть ν_0 — частота сигнала, которую регистрирует *неподвижный* приёмник в случае *неподвижного* излучателя; иными словами, ν_0 есть частота в системе отсчёта излучателя (то есть частота гудка поезда с точки зрения машиниста). Нас интересует частота ν , которую регистрирует приёмник в случае движения приёмника или излучателя. Движение происходит вдоль прямой, на которой расположены приёмник и излучатель.

1. Пусть излучатель покоится, а приёмник движется со скоростью u . В этом случае регистрируемая частота ν отличается от ν_0 потому, что приёмник пересекает гребни волн чаще или реже (в зависимости от направления своего движения). Покажите, что

$$\nu = \begin{cases} \nu_0 \left(1 + \frac{u}{c}\right), & \text{если приёмник приближается к излучателю;} \\ \nu_0 \left(1 - \frac{u}{c}\right), & \text{если приёмник удаляется от излучателя.} \end{cases}$$

2. Пусть теперь приёмник покоится, а излучатель движется со скоростью v . В этом случае изменяется длина волны (уменьшается, если источник догоняет звук, и увеличивается в противном случае — см. [гифку](#)), что приводит к изменению регистрируемой частоты. Покажите, что

$$\nu = \begin{cases} \frac{\nu_0}{1 - \frac{v}{c}}, & \text{если излучатель приближается к приёмнику;} \\ \frac{\nu_0}{1 + \frac{v}{c}}, & \text{если излучатель удаляется от приёмника.} \end{cases}$$

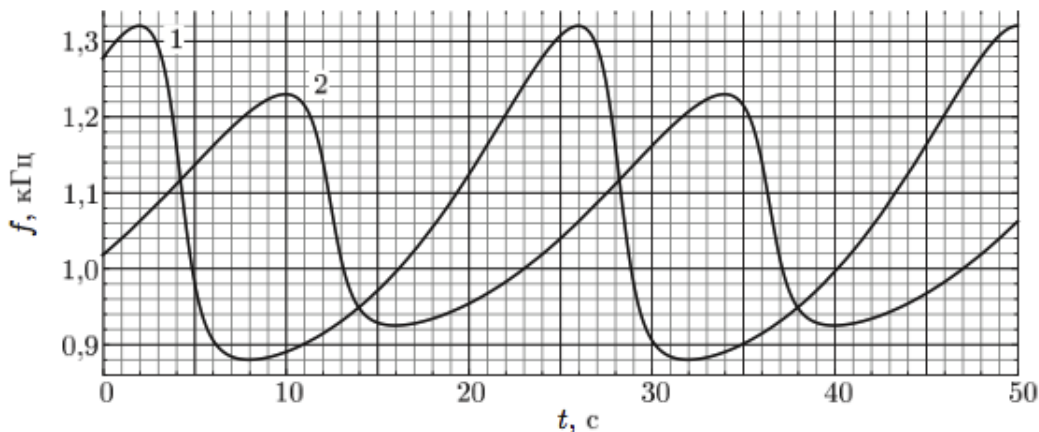
Как вы объясните несимметричность этих двух ситуаций? (Казалось бы, какая разница — кто движется, а кто покоится?) В обоих случаях проведите рассуждение в двух системах отсчёта: приёмника и излучателя.

ЗАДАЧА 3. (*Всеросс., 2013, финал, 11*) Лейтенант-экспериментатор Глюк проводил свои исследования на военном полигоне с новыми сигнальными ракетами, которые во время полёта с постоянной скоростью v издают звук постоянной частоты f_0 , при помощи датчиков частоты. Скорость звука на полигоне $c = 330$ м/с.

- 1) Какой частоты звук будет принимать датчик, если ракета летит строго на него?

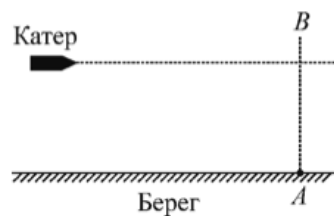
2) Какой частоты звук будет принимать датчик, расположенный на большом удалении от летящей ракеты, если угол между скоростью ракеты и направлением на датчик равен φ ?

3) Проводя исследования, лейтенант-экспериментатор Глюк случайно выпустил неисправную сигнальную ракету, которая стала летать вдоль поверхности полигона на малой высоте с той же постоянной скоростью v по кругу радиуса r . Ракету успешно нейтрализовали, а лейтенант-экспериментатор обратил внимание на графики самописца, который записывал зависимость частоты звука от времени у двух датчиков 1 и 2, расположенных на полигоне. Используя полученные графики (рис.), помогите лейтенант-экспериментатору Глюку определить расстояние L между этими датчиками.



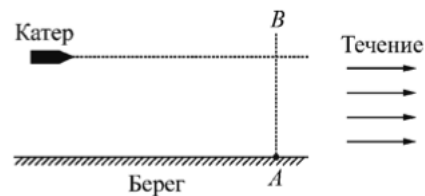
$$\pi \sin \varphi = \gamma \left(\frac{v \sin \varphi}{c} \right) \Rightarrow \frac{v \sin \varphi}{c} = \gamma \left(\frac{v \sin \varphi}{c} \right) \Rightarrow \gamma = 1$$

ЗАДАЧА 4. (МОШ, 2015, 10) По спокойной поверхности озера плывёт маленький катер, траектория которого параллельна прямой линии берега и лежит от него на расстоянии L . Стоящий в точке A наблюдатель увидел, что первая волна от катера достигла точки A спустя время t после того, как катер пересёк прямую AB , перпендикулярную берегу (см. рисунок). После этого волны ударили о берег в этом месте с периодом T . Расстояние между соседними гребнями волн равно λ . Найдите скорость катера.



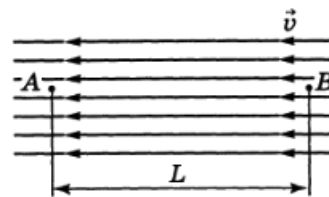
$$\frac{c \left(\frac{T}{\lambda} \right) - \frac{L}{\lambda}}{v} = a$$

ЗАДАЧА 5. (МОШ, 2015, 11) Вдоль направления течения прямой реки по спокойной воде плывёт маленький катер, траектория которого параллельна берегу и лежит на расстоянии L от него. Скорость течения реки равна V . Стоящий на берегу в точке A наблюдатель увидел, что первая волна от катера достигла точки A спустя время t после того, как катер пересёк прямую AB , перпендикулярную берегу (см. рисунок). После этого волны ударили о берег в этом месте с периодом T . Расстояние между соседними гребнями волн равно λ . Найдите скорость катера относительно воды, считая, что волны, возбуждаемые катером на поверхности воды, близки к гармоническим.



$$\lambda - \frac{c \left(\frac{T}{\lambda} \right) - \frac{L}{\lambda}}{v} = a$$

ЗАДАЧА 6. (Всеросс., 1995, ОЭ, 10) Маленький источник звука, расположенный в точке A , и маленький микрофон, расположенный в точке B , находятся на расстоянии $L = 1$ м друг от друга. В некоторый момент времени начинает дуть ветер (рис.). Во сколько раз изменится мощность звука, поглощаемая микрофоном, если известно, что скорость ветра $v = 15$ м/с, а скорость звука $c = 340$ м/с? Ветер не вызывает завихрения воздуха.



$$6'0 \approx \frac{c}{c-v} = \frac{340}{340-15}$$

ЗАДАЧА 7. (МОШ, 2007, 11) Звуковая волна от удалённого источника падает на стену, имеющую вогнутую цилиндрическую форму, под углом, близким к α , причем эта волна идёт перпендикулярно оси цилиндра. Определите, в какую точку A вблизи стены следует поместить чувствительный микрофон, чтобы он зарегистрировал максимально возможную интенсивность звука. Найдите расстояние от этой точки A до стены и до оси цилиндра. Радиус цилиндра R много больше размеров стены, но много меньше расстояния до источника. Длина волны звука много меньше размеров стены.

$$R \cos \alpha \text{ и } R \sqrt{1 - \frac{2}{3} \cos^2 \alpha}$$

ЗАДАЧА 8. (IPhO, 2017)

- [Вулканы, землетрясения и цунами / Earthquake, Volcano and Tsunami.](#)
- [Solution.](#)