

Условие

Задача 11-2. Звуковые волны, эффект Доплера.

При движении относительно друг друга излучателя и приёмника волн наблюдается эффект изменения частоты волн, который получил название эффекта Доплера. Сущность данного эффекта представлена на рисунке 1.

1. Неподвижный источник

излучает звуковые волны частотой ν . Если источник звука движется по направлению к покоящемуся приёмнику с постоянной скоростью v , то приёмник регистрирует сигнал частотой ν' , если источник удаляется от покоящегося приёмника с постоянной скоростью v , то приёмник регистрирует сигнал частотой ν'' .

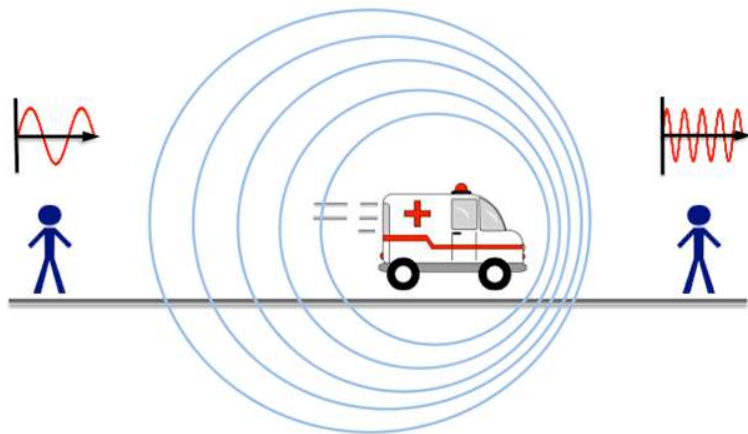


Рисунок 1.

Скорость звука в среде не зависит от скорости источника и приёмника звука. Среда однородная и неподвижная. Во всех пунктах данной задачи источник и приёмник звука считайте точечными, скорость звука в среде c .

1.1. Укажите соотношение между частотами ν' и ν'' (больше, меньше).

1.2. Покажите, что

$$\nu' = \frac{c\nu}{c - v}. \quad (1)$$

1.3. Покажите, что

$$\nu'' = \frac{c\nu}{c + v}. \quad (2)$$

Указание. Если Вам не удалось вывести уравнения (1) и (2), то далее в случае необходимости Вы можете пользоваться ими в готовом виде.*

2. Источник звука помещён внутри абсолютно упругого мяча (шара). Мяч находится на некоторой высоте h_0 над абсолютно упругой горизонтальной поверхностью, мячу сообщают скорость v_0 направленную вертикально вверх. На некотором расстоянии L от траектории движения мяча и на некоторой высоте $h_{\text{п}}$ над поверхностью находится приёмник звука $h_0 > h_{\text{п}}$ (рис.2). Зависимость частоты звука от времени $\nu'(t)$, регистрируемого приёмником, показана на графике (рис.3). Частота звука, излучаемого неподвижным источником, $\nu = 500\text{Гц}$.

Соппротивление воздуха не учитывать. Запаздыванием звукового сигнала пренебречь.

Определите:

2.1. Максимальную высоту подъёма мяча H ,

2.2. Начальную скорость мяча v_0 ,

2.3. Высоту h_0 ,

2.4. Высоту h_{Π} приёмника над поверхностью,

2.5. Расстояние L от приёмника до траектории движения мяча.

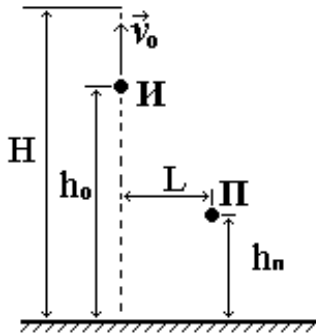


Рисунок 2.

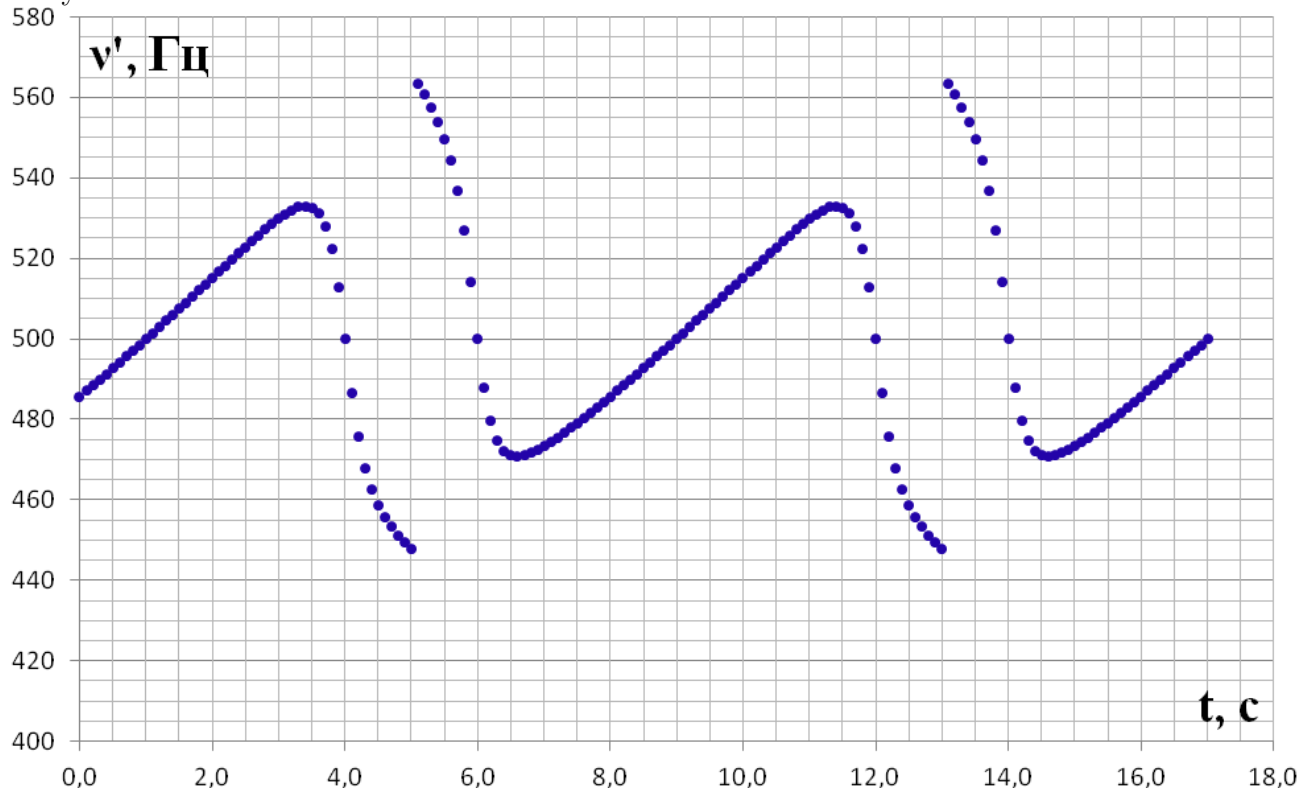


Рисунок 3.

3. Движение источника звука по окружности (*запаздыванием звукового сигнала пренебречь*).

3.1. Источник звука движется по окружности радиуса r со скоростью v . Приемник звука находится на расстоянии $R = 2r$ от центра окружности, по которой движется источник. Сделайте рисунок и укажите следующие точки на окружности: А – точка, в которой должен находиться источник, когда приёмник будет регистрировать сигналы наименьшей частоты; В – точка, в которой должен находиться источник, когда приёмник будет регистрировать сигналы наибольшей частоты; С и D – точки, в которой должен находиться источник, когда приёмник будет регистрировать сигналы с частотой, равной частоте излучения неподвижного источника.

3.2. Источник звука движется по окружности радиуса r со скоростью $v = 0,3c$. Период обращения источника звука T . Приемник звука находится на расстоянии $R \gg r$ от центра окружности, по которой движется источник. Постройте график зависимости частоты зву-

ка от времени $\nu'(t)$, регистрируемого приёмником, за промежуток времени равному двум периодам обращения источника звука по окружности. За начало отсчёта времени возьмите момент, когда расстояние между источником и приёмником было наименьшим. График постройте в относительных координатах $(\frac{\nu'}{\nu}; \frac{t}{T})$. *Подсказка:* для построения графика уравнение зависимости $\nu'(t)$ получать необязательно.

$$\nu' = \frac{c\nu}{c - v} \quad (1).$$

$$\nu'' = \frac{c\nu}{c + v} \quad (2).$$

$$\nu = 500 \text{ Гц}$$

$$\left(\frac{\nu'}{\nu}; \frac{t}{T}\right)$$