

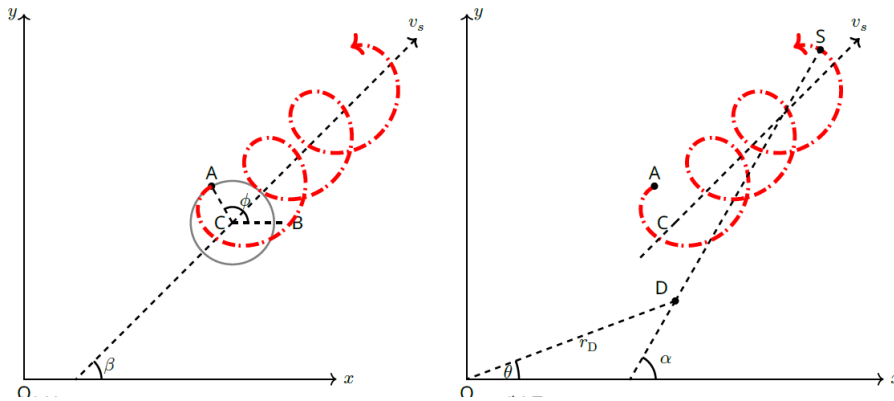
# Road to IPhO

## Акустический чёрный ящик

Источник звука движется в плоскости  $x-y$  по окружности радиуса  $R$  с постоянной угловой скоростью  $\omega$ . Сама окружность при этом смещается с постоянной скоростью  $v_s$ , составляющей угол  $\beta$  с осью  $x$  ( $0^\circ < \beta < 90^\circ$ ). На рисунке 1 красной пунктирной линией изображена траектория источника. В момент времени  $t = 0$  центр окружности находится в точке  $C$  с координатами  $(X_C, Y_C)$ . Вектор  $\vec{CA}$  задаёт положение источника. В момент времени  $t = 0$  вектор  $\vec{CA}$  составляет угол  $\phi$  с осью  $x$  (т.е.  $\angle BCA = \phi$  на рисунке 1(a)). В момент времени  $t = 0$  источник  $S$  начинает двигаться против часовой стрелки и испускать звук на частоте  $f_0$ .

Детектор  $D$  находится в той же плоскости  $x-y$  в точке с полярными координатами  $r_D$  и  $\theta$  (рис. 1(b)). Для угла между осью  $x$  и отрезком «детектор-источник» используйте обозначение  $\alpha$ . Всё движение источника и детектора происходит только в плоскости  $x-y$ .

Скорость звука  $c = 330$  /с, и скорость источника относительно воздуха меньше скорости звука.



В каждый момент времени  $t$  детектор регистрирует звуковой сигнал на некоторой частоте  $f(t)$ . Результаты измерения отображаются в симуляторе.

**A1** Выразите координаты источника  $x(t)$ ,  $y(t)$ , через величины  $\beta$ ,  $\phi$ ,  $v_s$  и другие.

**0.2**

### Как пользоваться симулятором

В верхней части страницы можно ввести параметры детектора, а в нижней части — увидеть график измеренной зависимости  $f(t)$ .



После изменения любых параметров нужно нажать «PLOT GRAPH», чтобы отобразить переменную зависимость  $f(t)$ .

# Road to IPhO

Положение детектора задаётся вводом значений  $r_D$  и  $\theta$ . Параметр «Data-point interval  $\Delta$ » определяет интервал между экспериментальными точками и должен быть кратным 0.001 с.

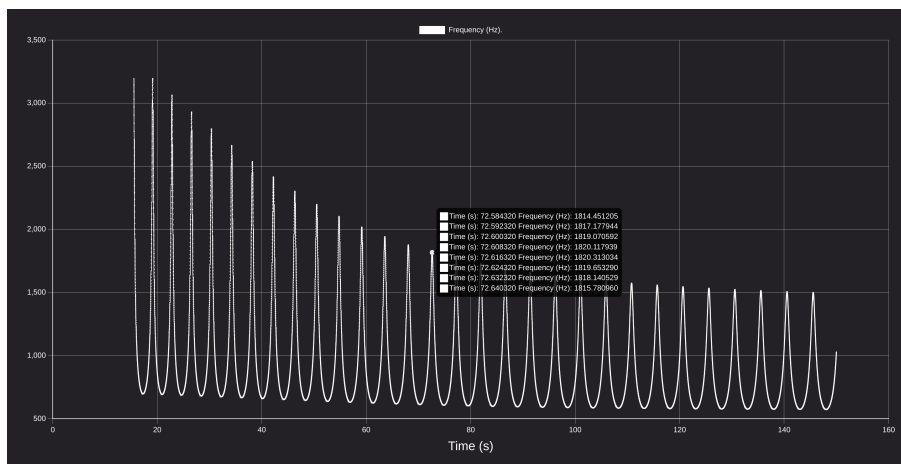
Ввод параметров  $v_D$  и  $\gamma$  приводит детектор в равномерное движение с заданной скоростью под заданным углом к оси  $x$ . Не забудьте нажать «PLOT GRAPH», чтобы отобразить новую зависимость.

После нажатия «PLOT GRAPH» график строится для некоторого интервала времени: от «Graph Start time ( $t_i$ )» до «Graph End time ( $t_f$ )». На рисунке 2 график построен от 0 до 25 с.

Control panel for the simulation with the following values:

|                             |                           |                                   |                     |
|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------------|---------------------|
| $r_D$ (m):                  | $\theta$ (degrees):       | $v_D$ (m/s):                      | $\gamma$ (degrees): |
| 5000                        | 78                        | 10                                | 56                  |
| Graph Start time $t_i$ (s): | Graph End time $t_f$ (s): | Data-point interval $\Delta$ (s): |                     |
| 10                          | 150                       | 0.008                             |                     |

PLOT GRAPH



Наведя курсор на точки графика, можно увидеть координаты экспериментальных точек. Если интервал между точками мал, то может получиться, что будут отображаться координаты сразу нескольких соседних точек. Чтобы этого избежать, можно, например, увеличивать масштаб нужной части графика, подбирая параметры «Graph Start time» и «Graph End time».

**Внимание!** Процесс перестройки графика может сильно затянуться, вплоть до зависания компьютера, если требовать отображения слишком большого числа точек. Например, если задавать параметры  $\Delta = 0.001$ ,  $t_i = 0$ ,  $t_f = 25$  с. Если у вас это произошло, прочитайте, что нужно сделать в общей инструкции к экспериментальному туру. Если вам нужно, используйте маленькие значения  $\Delta$  только для небольших интервалов времен. Максимальное количество точек, которое будет построено на графике — 25 000, вне зависимости от значения величины Graph End time ( $t_f$ ).

Пробуйте разные комбинации параметров симулятора, внимательно изучайте получающиеся графики, в дальнейшем используйте координаты точек как экспериментальные данные. Миллиметровку можно при необходимости использовать в любом пункте.

**A2** В симуляторе задайте  $r_D = \theta = 0$  и нулевую скорость детектора. Отобразите график  $f(t)$  в диапазоне от 5 с до 55 с. Занесите в таблицу координаты всех попавших в этот диапазон минимумов ( $f_{\min}$  и соответствующие им времена  $t$ ). Постройте график зависимости  $f_{\min}$  от  $t$ . **1,2**

**A3** Выразите минимальную частоту, которую в конечном итоге будет принимать неподвижный детектор, через  $v_s$ ,  $\omega$ ,  $R$  и другие величины. **1.0**

Для дальнейших пунктов понадобится использовать различные значения величин  $r_D$ ,  $\theta$ ,  $v_D$ ,  $\gamma$ ,  $t_i$ ,  $t_f$ , и  $\Delta$ . Прежде чем использовать их в любых расчетах, занесите все требуемые значения в таблицу на странице 3 листов ответов, указывая там же, для каких действий они понадобятся.

Все выкладки необходимо подробно описать в листах решений. Ответ без пояснений не засчитывается. Если используете лист миллиметровки, в листах ответов укажите его номер. Погрешности оценивать не нужно.

# Road to IPhO

В любом удобном вам порядке ответьте на следующие 4 вопроса.

|   |            |
|---|------------|
| <b>A4</b> Найдите начальные (в момент времени $t = 0$ ) координаты $(X_A, Y_A)$ точки $A$ (в метрах). | <b>1.4</b> |
|---|------------|

|  |            |
|--|------------|
| <b>A5</b> Найдите значения величин $f_0, \omega, R, v_s$ . | <b>2.1</b> |
|--|------------|

|   |            |
|---|------------|
| <b>A6</b> Найдите значение угла $\beta$ (в градусах). | <b>2.0</b> |
|---|------------|

|   |            |
|---|------------|
| <b>A7</b> Найдите начальные координаты $(X_C, Y_C)$ точки $C$ (в метрах). | <b>2.1</b> |
|---|------------|