

**В задаче не требуется оценка погрешностей!**

**Задание**

1. Расположите вентилятор на столе как это изображено на рисунке 1. Измерьте зависимость частоты вращения вентилятора  $f$  ( $[f] = \text{обороты/мин}$ ) от напряжения его питания  $U$  и постройте её график. Известно, что в бóльшем диапазоне напряжений измеренная зависимость может быть описана функцией вида:

$$f = A(U - U_0)^{\frac{1}{n}}, \quad (1)$$

где  $A$  - постоянный коэффициент,  $U_0$  - некоторое характерное напряжение связанное с началом работы вентилятора, а  $n$  - натуральное число. Определите число  $n$ . Постройте график линеаризованной зависимости. Найдите значение  $U_0$ .

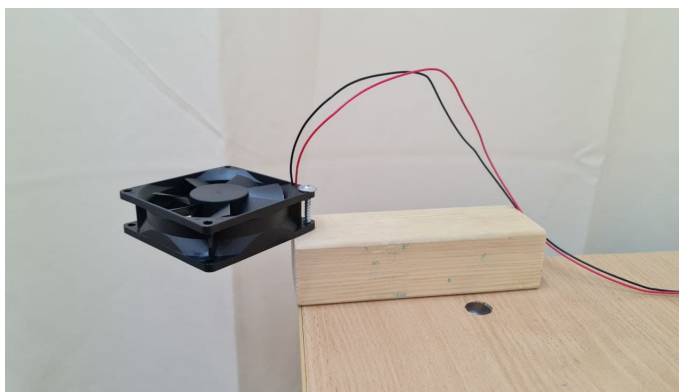


Рис. 1. Положение вентилятора для измерения зависимости  $f$  от  $U$ .

2. Подключите к вентилятору максимально возможное напряжения питания. Измерьте частоту вращения лопастей в случае положения вентилятора изображенного на рисунке 1. Также измерьте частоту вращения вентилятора, если его корпус лежит на столе, как это изображено на рисунке 2. Отличаются ли полученные значения? Если да, кратко объясните различие.

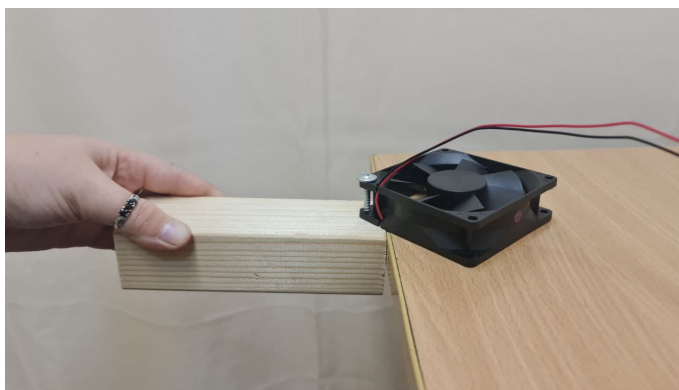


Рис. 2. Корпус вентилятора соприкасается с поверхностью стола.

- При работе вентилятора через его поперечное сечение движется воздух. Объем воздуха проходящего через него в единицу времени назовем производительностью  $Q$  ( $[Q] = \text{м}^3/\text{мин}$ ). Измерьте зависимость производительности вентилятора от его напряжения питания. Измерения проводите в положении вентилятора, изображенном на рисунке 1.
- Постройте график зависимости производительности  $Q$  от частоты  $f$  вращения вентилятора. Какой зависимостью можно описать полученные данные? Найдите соответствующие коэффициенты аппроксимации.

**Инструкция по работе со стробоскопом.**

Стробоскоп - это прибор, который генерирует короткие световые импульсы с некоторой частотой  $\nu$ . Частота мигания стробоскопа в единицах  $RPM$  (от англ. «оборотов в минуту») выводится на экран прибора.

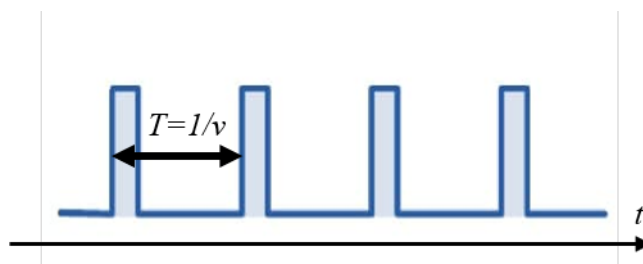


Рис. 3. Форма светового сигнала стробоскопа.  $T$  - период мигания.  $\nu = \frac{1}{T}$ ,  $[\nu] = \text{мин}^{-1}$

- Для включения стробоскопа в течение 2–3 с удерживайте нажатой кнопку «READ».
- Для увеличения частоты мигания стробоскопа нажмите кнопку «UP», для уменьшения — «DOWN». Если вам нужно значительно поменять частоту, зажимайте вышеуказанные кнопки для быстрого изменения частоты.
- В используемом в задаче диапазоне частот при однократном нажатии на кнопки «UP», «DOWN» частота изменяется на 100  $RPM$ . Для более точных измерений нажмите на кнопку «FINE ADJUST», это переключит стробоскоп в режим точной настройки. Для выхода из этого режима еще раз нажмите «FINE ADJUST».
- Во время проведения измерений необходимо зажимать кнопку «TEST», расположенную на правом торце прибора.

**Оборудование.** Вентилятор на подставке, стробоскоп, весы, кусочек мела, 2 батарейных отсека содержащих по 4 батарейки АА, мультиметр, соединительные провода, линейка.

**Указание 1.** Плотность воздуха при комнатной температуре примите равной  $\rho = 1.3 \text{ кг/м}^3$ .

**Указание 2.** Для получения различных значений напряжения питания подключайте соединительные провода непосредственно к пружинам батарейного отсека, как это показано на рисунке 4.

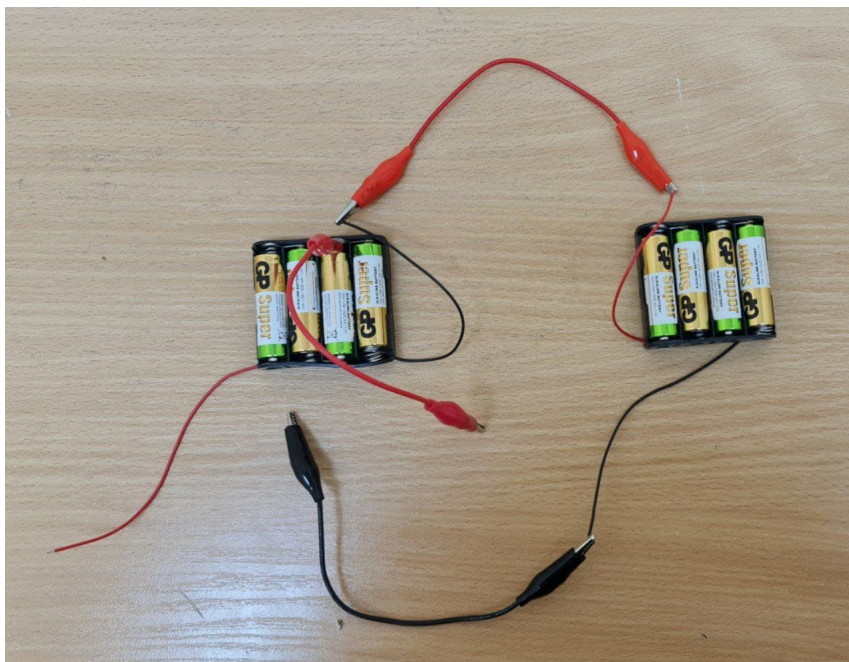


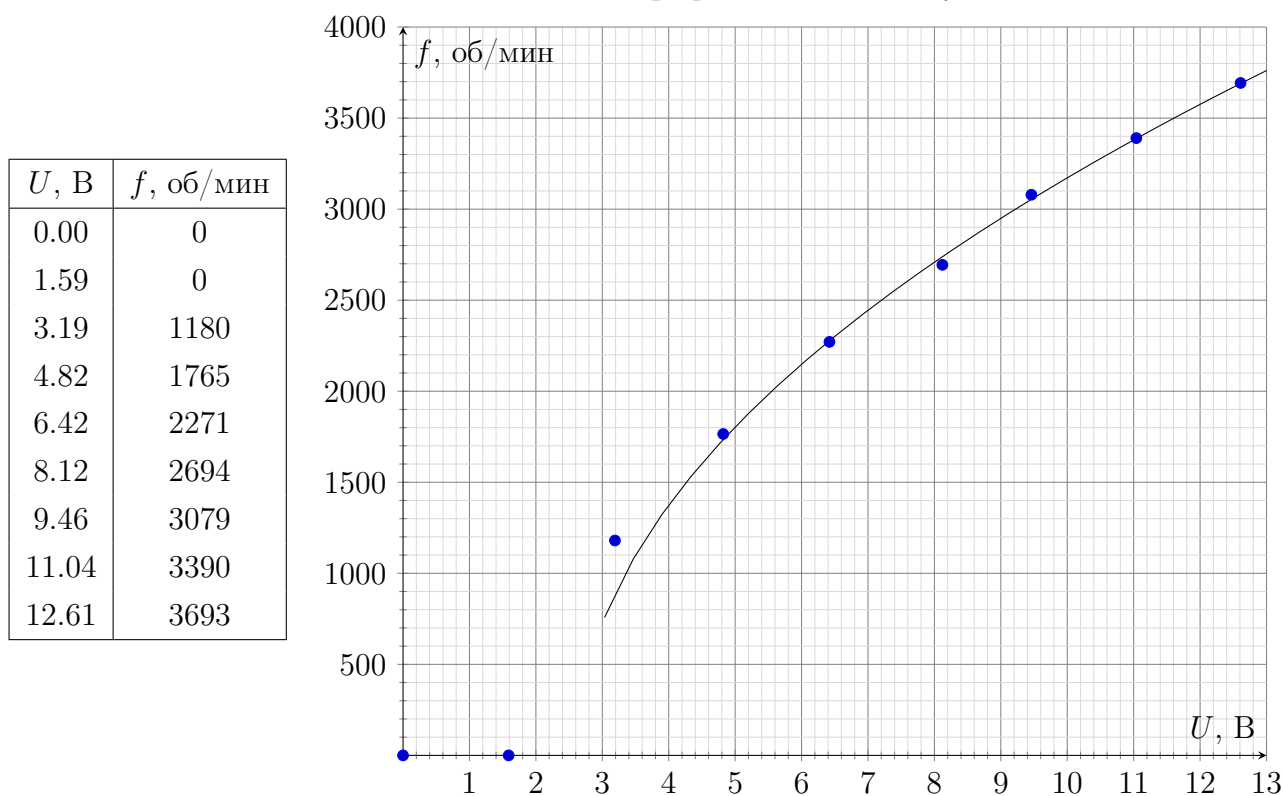
Рис. 4. Способ подключения батареек.

**Указание 3.** Включайте вентилятор только на время проведения измерений, так как непрерывная его работа приводит к разрядке батареек. В случае, если напряжение одной или нескольких батареек составляет менее 1,40 В обратитесь к организатору в аудитории.

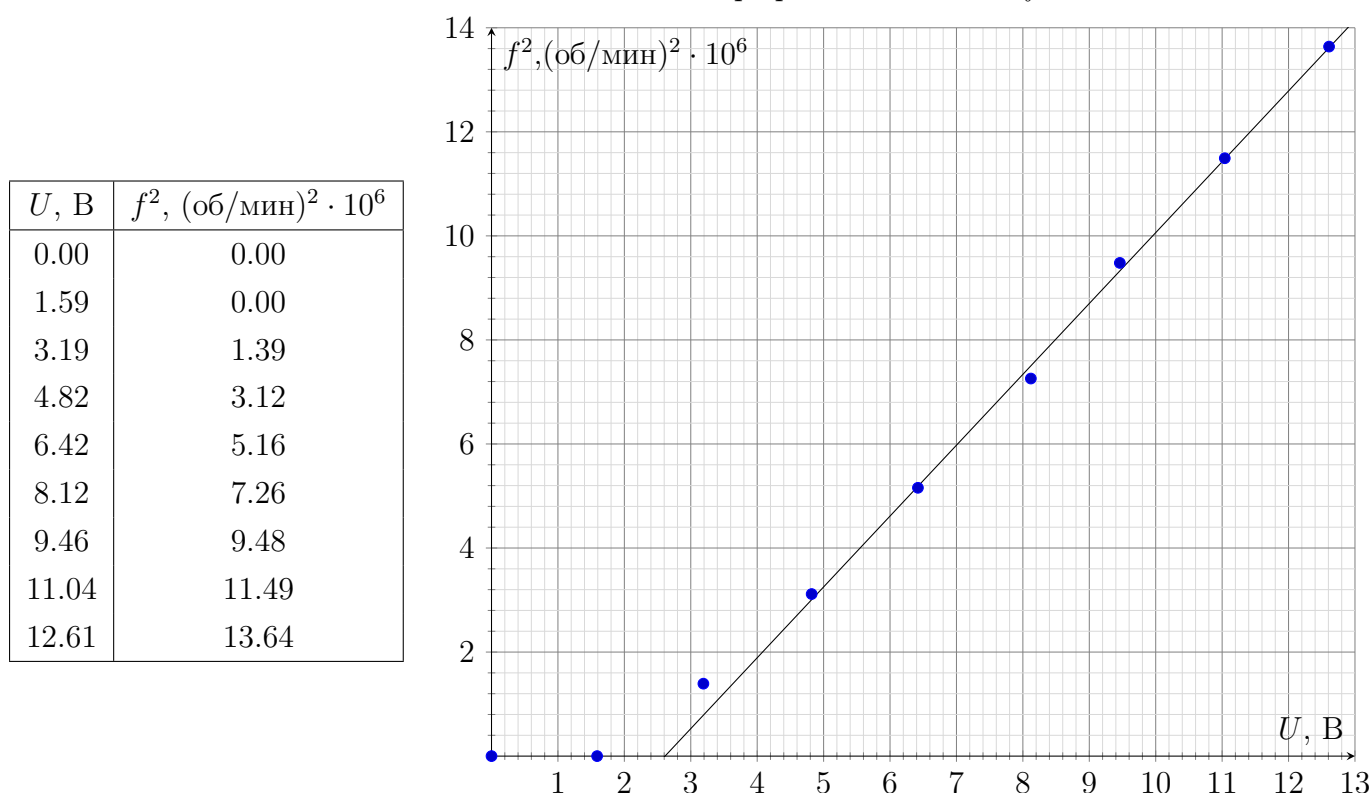
**Указание 4.** Не прикасайтесь к лопастям вентилятора во время его работы.

**Решение**

Для измерения частоты вращения вентилятора перед его запуском нарисует на его лопасти небольшой штрих кусочком мела. Будем освещать вращающийся вентилятор стробоскопом. При некоторых частотах вспышек центральная плоская часть вращающегося вентилятора кажется остановившейся илидвигающейся очень медленно. Среди этих частот можно найти частоты, когда на застывшей части есть только одна белая точка, отвечающая положению нарисованного штриха. Среди всех таких частот следует найти максимальную. Эта частота вспышек стробоскопа и будет отвечать частоте вращения вентилятора. Подбирая такие частоты стробоскопа, измерим зависимость частоты вращения вентилятора от напряжения питания на нем.

График зависимости  $f$  от  $U$ 

Видно, что экспериментальные точки не могут быть описаны линейной функцией, тогда  $n \neq 1$ . Предположим, что  $n = 2$  и построим график зависимости  $f^2(U)$ . Как можно видеть, большинство точек графика ложатся на прямую. Значит предположение было верно. Значение  $U_0 = 2,6$  В определим по пересечению прямой с осью  $U$ .

График зависимости  $f^2$  от  $U$ 

Подадим на вентилятор максимально возможное напряжение. Измерим частоту вращения вентилятора для случая, когда его корпус нависает над полом и лежит на столе. В результате контрольных измерений  $f_{\text{н}} = 3499$  об/мин,  $f_{\text{с}} = 3023$  об/мин. Частота вращения вентилятора при помещении его корпуса на стол уменьшилась за счет возросшей силы трения лопастей вентилятора о воздух.

Соберем установку, изображенную на рисунке 5. Для измерения его производительности будем измерять дополнительную силу, с которой вентилятор давит на подставку во время его вращения. Эта сила возникает из-за того, что вентилятор разгоняет воздух до некоторой скорости  $v$ . Значение этой скорости легко связать с производительностью:

$$Q = vS, \quad (2)$$

где  $S$  - площадь сечения потока.

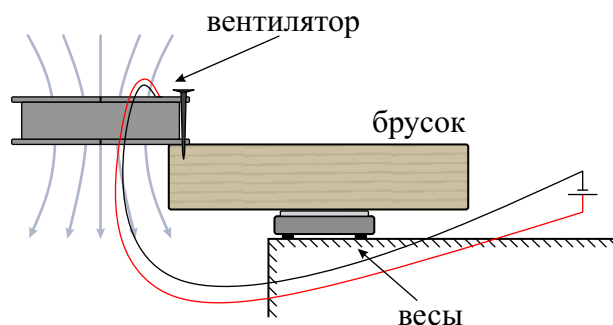


Рис. 5. Установка для измерения производительности вентилятора.

Площадь струи будем считать равной площади вентилятора за вычетом площади центральной плоской части. Диаметр лопастей вентилятора составляет  $D = 7.4$  см, а диаметр плоской части вентилятора  $d = 3$  см. Тогда для площади струи имеем:

$$S = \pi \frac{D^2 - d^2}{4} = 3.6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2. \quad (3)$$

Изменение импульса воздуха за единицу времени, то есть сила с которой лопасти вентилятора действуют на воздух  $F$ , составляет:

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{\rho S v \Delta t \cdot v}{\Delta t} = \rho S v^2 = \rho \frac{Q^2}{S}. \quad (4)$$

Дополнительная сила будет измеряться с помощью весов, которые показывают отношение дополнительной силы к ускорению свободного падения  $g$ . Таким образом, для связи показаний весов и производительности имеем:

$$\Delta m = \rho \frac{Q^2}{gS}. \quad (5)$$

Окончательно производительность равна:

$$Q = \sqrt{\frac{gS\Delta m}{\rho}}. \quad (6)$$

Измерим зависимость дополнительной массы на весах от напряжения подаваемого на вентилятор. Пересчитаем показания весов в производительность. По графику измеренной ранее зависимости частоты вращения вентилятора от его питающего напряжения найдем для каждого значения производительности частоту вращения вентилятора. Построим график зависимости производительности от частоты вращения вентилятора. Видно что экспериментальные точки хорошо описываются прямой пропорциональностью с угловым коэффициентом:

$$K = 2.4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$$

$U$ , В	$\Delta m$ , г	$Q$ , м <sup>3</sup> /мин
0.00	0.00	0.00
1.59	0.00	0.00
3.19	0.70	0.27
4.82	1.50	0.40
6.42	3.00	0.57
8.12	4.10	0.66
9.46	5.50	0.77
11.04	6.60	0.84
12.61	8.10	0.93

График зависимости  $Q$  от  $f$ 