

**В задаче требуется оценка погрешностей!****Задание**

1. Из серии экспериментальных точек определите скорость звука в воздухе c .
2. Заполните пробирку неизвестным газом. Для этого один конец силиконовой трубки опустите в пробирку, другой конец трубки подсоедините к баллончику с газом, нажмите на спусковой кран и подержите его в таком положении 15 – 30 с. Время полного заполнения пробирки зависит от скорости истечения газа из баллончика. Эта скорость регулируется поворотным механизмом в спусковом устройстве баллончика. Проведите эксперимент, позволяющий проследить за изменением некоторой величины, характеризующей звук, связанной с наличием неизвестного газа в пробирке, от времени.
3. Аналогично первому упражнению, определите скорость звука в неизвестном газе v . Зафиксируйте время измерения серии экспериментальных точек с помощью секундомера.
4. Оцените погрешность измеренной скорости звука в неизвестном газе, используя данные второго и третьего упражнения.
5. Известно, что скорость звука в газах является функцией температуры и не зависит от давления. На основе метода размерностей предположите, какова степень зависимости скорости звука от молярной массы газа.
6. Рассчитайте молярную массу неизвестного газа.

Оборудование. Пробирка, наушники, компьютер или смартфон с установленным ПО генератора звуковых колебаний, штатив с муфтой и лапкой, канцелярский пластилин, баллончик с неизвестным газом, силиконовая трубка, линейка, секундомер.

Внимание! Раскручивать баллончик с газом категорически запрещено!

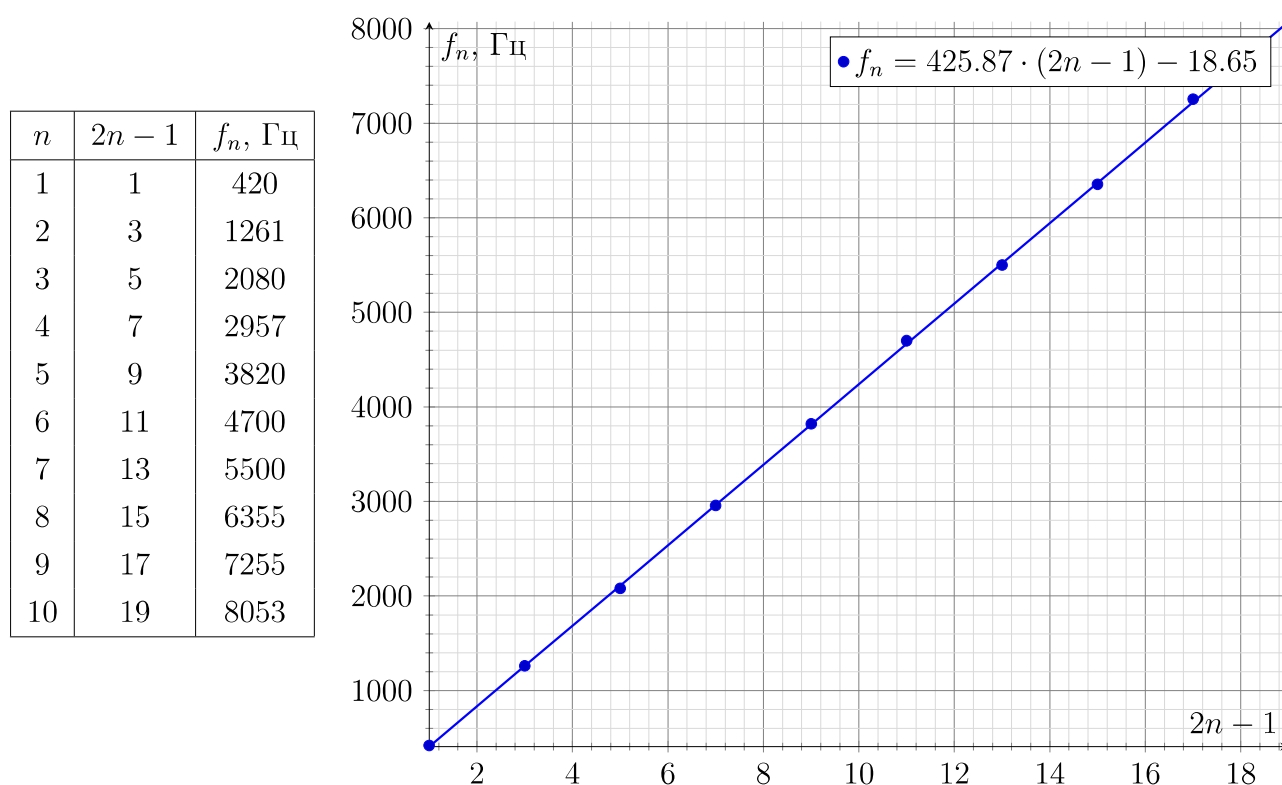
Решение

1. При помощи пластилина закрепим наушник над пробиркой, зажатой в лапке штатива. Подключим наушники к компьютеру. Запустим программу звукового генератора и начнем воспроизводить через наушник звук. Слушая звук непосредственно у выхода из пробирки, можно обнаружить, что на определенных частотах звук слышен сильнее чем на других. Такие частоты совпадают с собственными частотами колебаний воздуха в пробирке и называются резонансными. Их несложно вычислить на основе представления о стоячих звуковых волнах в пробирке, считая ее дно закрепленным концом, а место положения наушника свободным концом. Тогда собственные частоты колебаний будут равны:

$$f_n = (2n - 1) \frac{c}{4L}, \quad (1)$$

где L - длина пробирки, n - номер собственной частоты колебаний.

Измерим последовательность резонансных частот колебаний воздуха в пробирке с помощью вышеописанного метода и построим график $f_n(2n - 1)$.

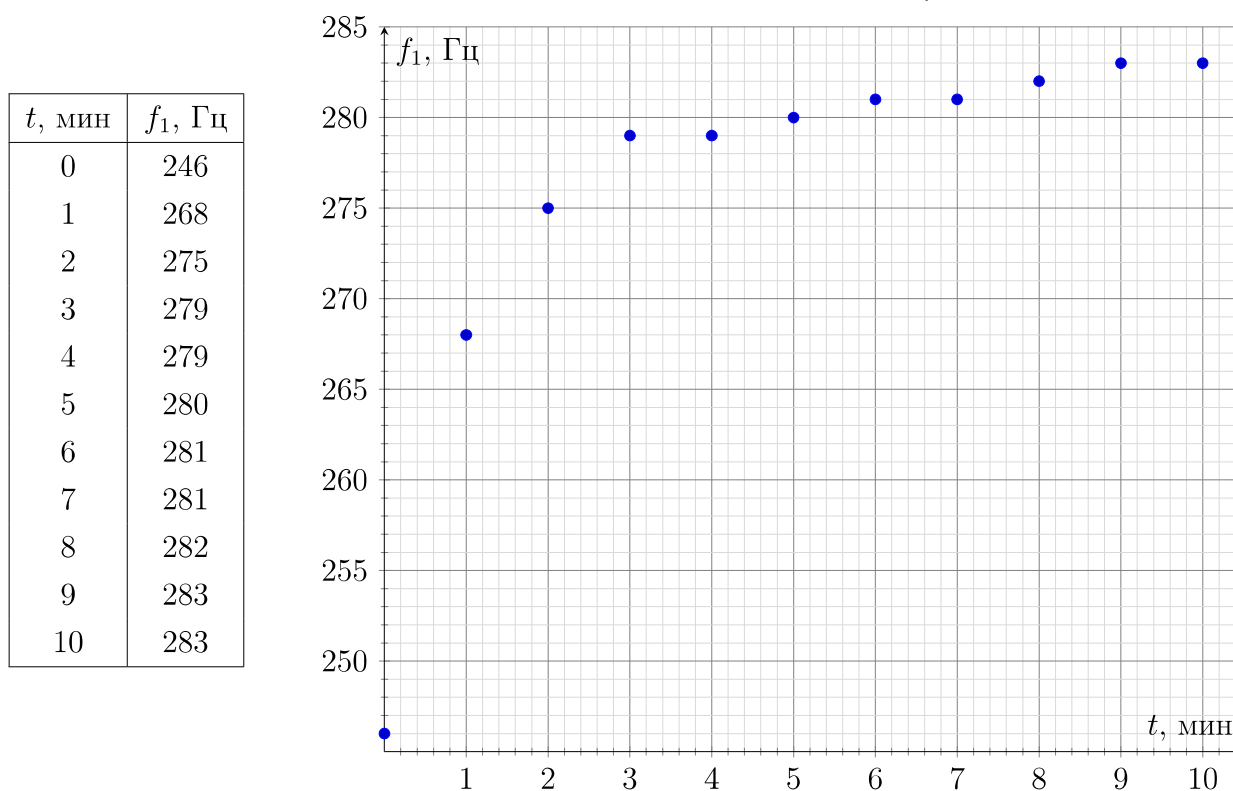
График зависимости f_n от $2n - 1$ 

Из углового коэффициента графика $K_1 = 425$ Гц и длины пробирки $L = 19.5 \pm 0.5$ см получаем скорость звука в воздухе:

$$c = 4K_1L = 331 \pm 8 \text{ м/с}. \quad (2)$$

Относительную погрешность углового коэффициента будем считать пренебрежимо малой по сравнению с относительной погрешностью длины пробирки. Последнюю оценим как отношение размера закругленной части пробирки к полной длине пробирки. Относительная погрешность измерений скорости звука будет совпадать с относительной погрешностью длины пробирки.

2. Заполним пробирку неизвестным газом и подберем частоту первого тона колебаний. Можно обнаружить, что эта частота со временем будет изменяться. То есть максимум громкости звука будет приходиться на более высокую частоту колебаний. Измерим зависимость частоты первого тона колебаний газа в пробирке от времени.

График зависимости f_1 от t 

3. Аналогично первому упражнению измерим последовательность частот собственных колебаний неизвестного газа в пробирке.

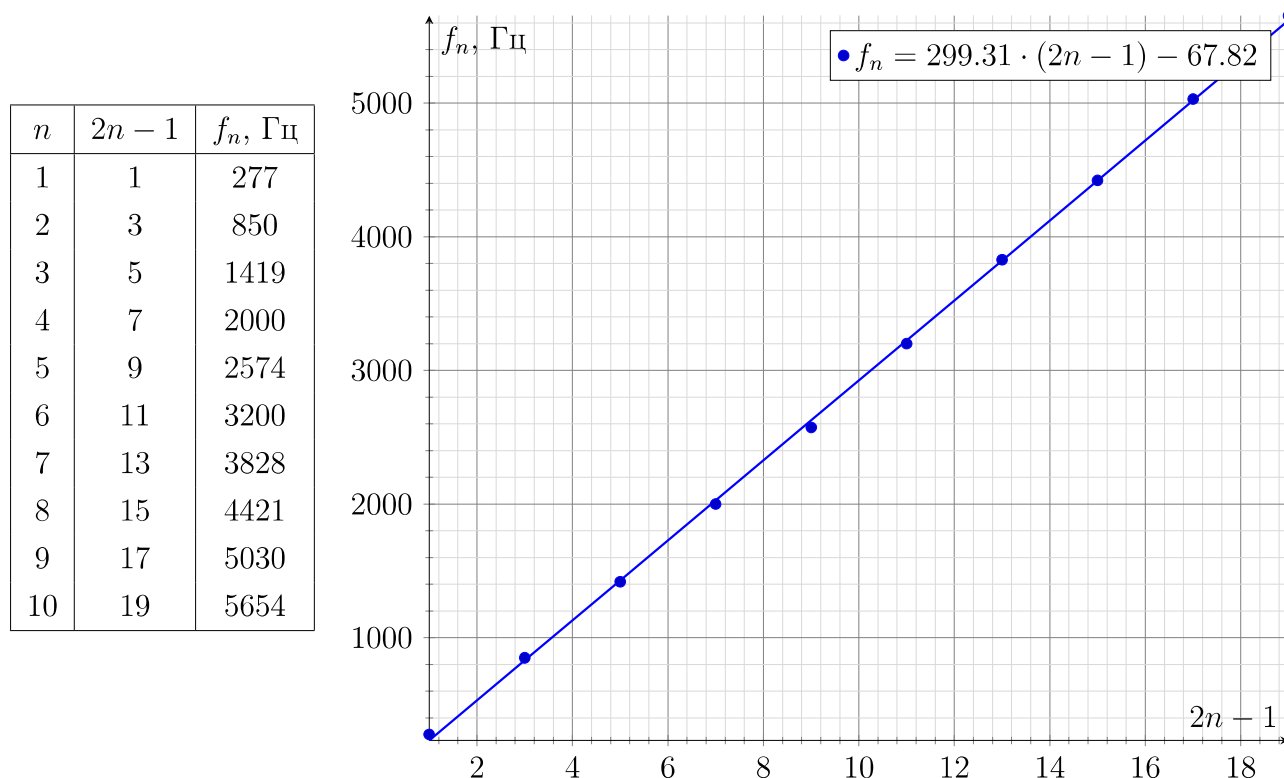
Для углового коэффициента графика получаем $K_2 = 299$ Гц, тогда для скорости звука получаем:

$$v = 4K_2L = 233 \pm 35 \text{ м/с.} \quad (3)$$

На эксперимент было затрачено не более 5 минут.

4. Частота первого тона колебаний за время эксперимента по измерению скорости звука в неизвестном газе смещается не более чем на 14 %. Таким образом можно оценить, что в совокупности из-за фактора неточности длины пробирки и диффузии газа

полученное значение скорости измерено с относительной погрешностью не превышающей 15 %.

График зависимости f_n от $2n - 1$ 

5. Скорость звука в газе имеет характерную величину близкую к скорости беспорядочного движения молекул. С другой стороны, известно, что эта величина зависит лишь от температуры и типа газа. Тогда можно предположить, что зависимость скорости звука от температуры и молярной массы газа с точки зрения размерностей совпадает с зависимостью средней квадратичной скорости молекул от указанных параметров газа. Существует и альтернативный способ прийти к такому заключению. Для этого необходимо сказать, что скорость звука является функцией температуры (размерность [K]) и молярной массы (размерность [кг/моль]). Для получения в этой функции размерностей, соответствующих кинематическим величинам, необходимо использовать универсальную газовую постоянную. Ее размерность [Дж/моль·K=кг·м²/моль·с²]. Отсюда с точностью до численного коэффициента A , получим:

$$v = A \sqrt{\frac{RT}{\mu}}. \quad (4)$$

Таким образом, скорость звука обратно пропорциональна корню из молярной массы газа. Тогда для молярной массы неизвестного газа имеем:

$$\mu = \mu_{\text{в}} \left(\frac{c}{v} \right)^2 = 59 \pm 18 \text{ г/моль}, \quad (5)$$

где μ_v - молярная масса воздуха. Не смотря на столь высокую оценку погрешности, вычисленная величина достаточно хорошо совпадает с реальной величиной молярной массы бутана, который находился внутри баллончика с газом. Последнее можно объяснить тем фактом, что изменение более высоких резонансных частот в пробирке с бутаном с течением времени происходит медленнее. А угловой коэффициент графика рассчитывается на основе серии данных.