

УДК 534.2; 531.112; 530.131:531.12

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДВИЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА НА СКОРОСТЬ ЗВУКА

РАИМКУЛОВ М.Н., ЖЭЭНБЕКОВ А.А., АККОЗОВ А.Д.,  
БУЛАНЧИЕВ Ж.М., МАМЫРБЕКОВ М.Т..

[maratram@rambler.ru](mailto:maratram@rambler.ru)

*В данной работе описан эксперимент, который показал, что на скорость звука влияет скорость движения источника звука. Дано принципиальное описание движения частиц воздуха, закона и силы, влияющих на скорость распространения звуковой волны. Таким образом, предложено теоретическое обоснование результатов проведенного эксперимента.*

Как известно, звуковая волна в газе представляет собой распространяющуюся в пространстве последовательность чередующихся областей сжатия и разрежения газа [1]. То есть это фактически движение микроскопических частиц воздуха, которые, ударяясь друг о друга, передают свой импульс, создавая тем самым движение звуковой волны. Основываясь на этом факте, а так же исходя из информации предложенной в статье «Новый взгляд на опыт Майкельсона-Морли» [2], сделано предположение о том, что сила инерции должна влиять на скорость звука при движении источника звука. А это значит, что скорость звука должна соответствовать принципу сложения скоростей: скорости звука и скорости источника звука. Чтобы подтвердить или опровергнуть данное предположение, был проведен эксперимент на сложение скорости источника звука со скоростью самого звука.

Эксперимент был проведен при температуре воздуха 23<sup>0</sup>С (296<sup>0</sup> К) и облачной погоде. Источником звука был сигнал легковой машины, которая издавала его в одном случае в неподвижном состоянии, а в другом – в движении со скоростью 120 км/час (33,3 м/с). На расстоянии 700 м от источника звука находился человек, который замерял время прохождения сигнала сначала от неподвижного источника, а потом от движущегося. Человек, фиксирующий время прохождения звукового сигнала, включал секундомер в момент, когда сигнал приходил к нему по радию, которая передавала его со скоростью света, превышающей скорость звука примерно в 10<sup>6</sup> раз, то есть фактически мгновенно, а останавливал в тот момент, когда звук до него доходил по воздуху. Тем самым замерялось время, затрачиваемое звуком на прохождение расстояния в 700 м. Эти измерения проводились множество раз, для объективности получаемого результата. Для случая, когда источник звука был неподвижен, секундомер фиксировал время, равное двум секундам. Далее аналогичным образом замерялось время прохождения звуком этого же расстояния для случая, когда машина, разогнавшись до скорости 120 км/час, издавала сигнал, который также фиксировался экспериментатором с секундомером в руках. Время прохождения в данном случае составило 1,8 секунды. Следует отметить, что у нас была возможность замерять время только с точностью до десятых долей секунды, но даже эта точность позволила зафиксировать нам разницу во времени прохождения звуком расстояния в 700 метров.

Известно, что скорость звука в воздухе определяется по формуле [3]:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}, \quad (1)$$

где  $\gamma$  – отношение теплоемкости газа при постоянном давлении к теплоемкости при постоянном объеме ( $\gamma = 1,4$  - для воздуха);

$R$  – газовая постоянная ( $R = 8,31 \frac{Дж}{моль \cdot К}$ );

$T$  – температура воздуха ( в нашем случае  $T = 296^0 K$ );

$M$  – масса моля газа ( $M = 29 \times 10^{-3} \frac{кг}{моль}$ ).

Тогда, исходя из наших условий, скорость звука получается равной:

$$v = \sqrt{\frac{1,4 \cdot 8,31 \cdot 296}{29 \cdot 10^{-3}}} \approx 344,6 \frac{м}{с}. \quad (2)$$

Теперь вычислим скорость звука, которая получилась на основе наших замеров времени и расстояния. В этом случае скорость звука для случая:

– неподвижного источника равна:

$$v = \frac{l}{t} = \frac{700}{2} = 350 \frac{м}{с}; \quad (3)$$

– движущегося источника равна:

$$v = \frac{700}{1,8} = 388,9 \frac{м}{с}. \quad (4)$$

То есть скорость звука увеличилась на величину:

$$388,9 - 350 = 38,9 \frac{м}{с}. \quad (5)$$

Источник звука двигался со скоростью  $33,3 \frac{м}{с}$ , то есть разница  $38,9 \frac{м}{с}$  фактически является скоростью машины, а небольшое расхождение  $38,9 - 33,3 = 5,6 \frac{м}{с}$  исходит из недостаточной точности измерений, поскольку мы могли измерять только десятые доли секунды. Но необходимо отметить, что полученная точность измерений вполне достаточна для выявления факта сложения скоростей источника звука и самого звука.

Для убедительности проверим, какое должно быть время прохождения звуком расстояния 700 м при движении источника и прямом сложении скоростей звука и источника:

$$v = 350 + 33,3 = 383,3 \frac{м}{с}. \quad (6)$$

Тогда время, которое должно понадобиться для прохождения звука равно:

$$t = \frac{700}{383,3} = 1,82 с. \quad (7)$$

Как уже было отмечено выше, мы получали с помощью замера секундомером, с точностью до десятых долей секунды, время, равное 1,8 секунды. Разница между измеренным и расчетным временем составляет 0,02 секунды. Это та величина, которую просто не способен был замерить наш секундомер, но она столь незначительна, что никаким образом не влияет на результат эксперимента.

Таким образом, мы можем сделать вывод о том, что скорость звука складывается со скоростью движения источника звука, в том случае, когда они движутся в одном направлении и, вполне логично было бы предположить, что они будут вычитаться друг от друга в том случае, когда направления их движения будут противоположными.

Давайте разберемся, какие силы влияют на процесс распространения звуковой волны. Для этого нам необходимо представлять себе, что и как движется, создавая звуковую волну. Выше уже было отмечено, что звуковая волна в газе представляет собой распространяющуюся в пространстве последовательность чередующихся областей сжатия и разрежения газа или, что то же самое, движение микроскопических частичек воздуха, которые, ударяясь друг о друга, передают свой импульс, распространяя его в виде звуковой волны. Исходя из этого, опишем движение частиц воздуха, создающих звуковую волну в случае, когда источник звука неподвижен (рис. 1.а), и в случае, когда он движется (рис. 1.б).

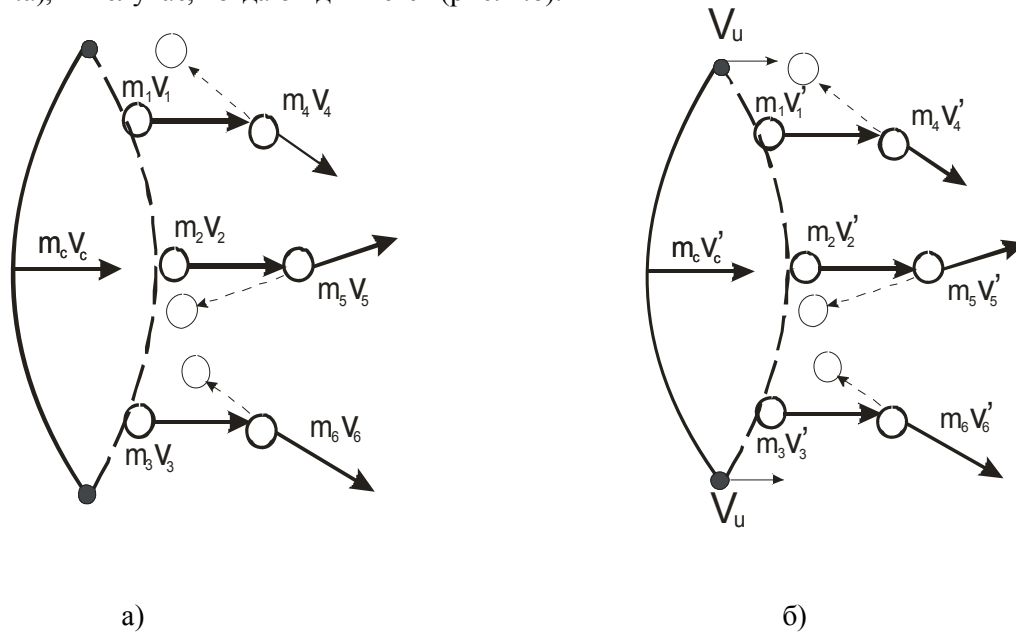


Рис. 1

В первом случае (рис. 1.а) скорость частиц и величина распространения импульса от частицы к частице в заданном направлении зависит только от того, какую скорость приобрели частички воздуха от источника звука. То есть источник звука в виде условной струны придает близлежащим частичкам воздуха соответствующую скорость и соответствующий импульс исходя из скорости движения самой струны. В этом случае мы имеем скорость струны, равную  $V_c$ , импульс струны, равный  $m_c V_c$ , и импульсы частичек воздуха равные:

$$\sum m_i V_i = m_c V_c \quad (8)$$

Во втором случае (рис. 1.б) скорость частиц и величина распространения импульса от частицы к частице в заданном направлении зависит также от того, с какой скоростью движется сам источник звука. То есть источник звука придает близлежащим частичкам воздуха соответствующую скорость и соответствующий импульс исходя из скорости его движения  $V_u$  и скорости движения самой струны  $V_c$ . В этом случае мы имеем иную скорость струны, в направлении движения источника, равную:

$$V'_c = V_c + V_u \quad (9)$$

Тогда импульс струны будет равен:

$$m_n V'_c = m_c (V_c + V_u) \quad (10)$$

Поскольку скорость и импульс частичкам придает струна, или, точнее, ее скорость и импульс, то, соответственно, скорость и импульс частичек воздуха, движущихся в направлении движения источника звука, тоже изменятся:

$$\sum m_i V_i'' = m_c V_c' = m_c (V_c + V_{\dot{\epsilon}}). \quad (11)$$

Из формул (8) и (11) не сложно заключить, что скорость частичек воздуха при источнике, движущемся в направлении распространения звука, изменяется пропорционально скорости источника  $V_i \sim V_u$ , что и было подтверждено описанным выше опытом. Это ясно показывает, как скорость источника влияет на скорость распространения звуковой волны, а силой, влияющей на увеличение скорости звука, является сила инерции, которая здесь была представлена в виде закона сохранения импульса.

### **Выводы**

**Таким образом, мы можем сделать выводы о том, что:**

- 1) скорость звука складывается со скоростью движения источника звука, в том случае, когда они движутся в одном направлении, и они будут вычитаться друг от друга в том случае, когда направления их движения будут противоположными;**
- 2) физическим законом, описывающим скорость распространения звуковой волны, является закон сохранения импульса;**
- 3) силой, способствующей влиянию скорости источника на скорость распространения звука, является сила инерции.**

### **Литература**

1. И.В. Савельев. Общий курс физики. Т.2. – М.: Наука, 1988, С. 295.
2. М.Н.Раимкулов. Новый взгляд на опыт Майкельсона-Морли // Физика. 2010. – №2, С. 123 – 128.
3. И.В. Савельев. Общий курс физики. Т.2. – М.: Наука, 1988, С. 298.