

# Духовое ружьё

## План

1. Вступление
2. ?Краткая история
3. Физические основы задачи
4. Виды пуль
5. Наша установка
6. Силы
7. Сопоставление эксперимента и теории
8. Выводы

## Доклад

День добрый, уважаемые члены жюри, команды-соперницы, а также просто зрители.

Я хочу представить вам решение задачи «Духовое ружьё». Напомню её условие: [слайд]

**Исследуйте движение пули внутри духового ружья. Определите условия, при которых достигается максимальная выходная скорость пули при выстреле.**

Духовые ружья имеют достаточно большую историю, которая насчитывает тысячелетия. Сегодня оно имеет следующее определение: [слайд]

**Духовое оружие (ДО)** - пневматическое оружие, в котором для сжатия воздуха используется мускульная энергия легких человека. ГОСТ 24241-80. "Оружие пневматическое. Термины и определения".

Из определения видно, что пуля будет разгоняться за счёт мускульной энергии лёгких.

Прежде чем далее решать задачу, следует разобраться, чем стрелять, или какие виды пуль лучше применять. В зависимости от размеров и влияния на поток, пули можно разделить на 3 вида: [слайд]

- маленькая пуля, летит вместе с потоком, не оказывая особого влияния на него;
- пуля-поршень, т.е. плотно подогнана, незначительно пропускает воздух, толкает столб воздуха перед собой;
- пуля средних размеров. Это значит, воздух частично просачивается в щель между пулей и стенкой.

Малая пуля и пуля-поршень – это довольно идеальные варианты. Создать такие пули возможно, однако в силу веских причин их применять невыгодно. Поэтому при дальнейшем рассмотрении задачи будем использовать пули средних размеров.

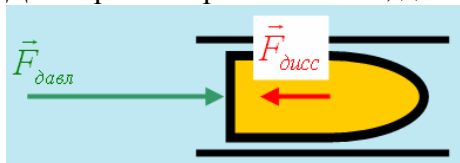
Дуть в трубку ртом не очень-то удобно, поскольку уже после не то, чтобы нескольких, а уже одного выстрела трубка запотеваает и в ней начинают конденсироваться капельки пара, которые вносят погрешность в измерения. Дабы этого избежать, мы собрали следующую установку, которая схематично выглядит следующим образом... [слайд]

А вот как это выглядит на деле. [слайд]

Такой переход возможен, если вспомнить, как правильно дуть в трубку. Надо набрать воздуха в лёгкие, прикрыть трубку языком, повысить давление и резко отдёргнуть язык. Тогда скорость вылета пули будет максимальна.

Если же не получается сразу, можно попытаться сделать следующее устройство. [слайд] Вы можете видеть его на слайде. Принцип работы прост: пуля задерживается мягким резиновым кольцом. По достижении определённого давления, сила давления побеждает силы упругости резинки и пуля срывается с места.

Далее рассмотрим все силы, действующие на пулю. [слайд]



В первую очередь это сила давления воздуха, которая и разгоняет пулю. Также присутствуют диссипативные силы, такие как трение пули о стенки, сила сопротивления воздуха и т.д. [слайд] Их приблизительные оценки вы можете видеть на слайде.

Оценки:

- трение о стенки - 0,3 - 1%
- изменение давления при расширении и за счёт утечки – 2-7 %
- трение воздуха о стенки – х%

На вопросы о том, как оценивались силы, мы готовы Вам рассказать.

Как видно из оценок, самая значительная диссипативная сила – сила трения воздуха о стенки.

Конечно, все силы можно попытаться учесть, вывести формулу в несколько строк с интегралами и дифференциалами, но стоит ли? Поэтому мы пренебрегаем ими, тем самым в значительной степени упрощая расчёты, а разница между теоретическими и практическими результатами не превысит 10%.

Значит, будем считать диссипативные силы равными нулю. Тогда приравняем работу, совершаемую газом к кинетической энергии пули и работе атмосферы (ведь на пулю действует и сила давления со стороны атмосферы).

Поскольку процесс адиабатический, для нахождения работы газа воспользуемся соответствующей формулой. В этой формуле присутствует неизвестное нам конечное давление  $p_2$ . Выразим его из уравнения Пуассона.

Что же касается работы атмосферы [слайд], то тут всё несколько осложняется тем, что когда пуля летит, то перед ней давление не атмосферное, а несколько выше. Значительно оно будет отличаться от атмосферного при больших скоростях, т.е. сравнимых со звуковыми. Поэтому мы считаем давление перед пулей равным атмосферному.

Собрав формулу, выразив скорость, получим **формулу (1)** для скорости: [слайд]

$$v = \sqrt{\frac{2p_1 \left( V_1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^\gamma V_2 \right) - 2p_0 S l (\gamma - 1)}{(\gamma - 1)m}} \quad (1)$$

Это теоретическая скорость. Но ещё надо измерить реальную или практическую скорость пули. [слайд]

Существует много способов измерения скорости пули. Однако мы решили пойти традиционным способом: использовать баллистический маятник: пуля вылетает на некоем расстоянии, ударяется в мягкую пластилиновую грушу. Замеряем расстояние, на которое отклонилась груша от вертикали. Используя закон сохранения импульса и энергии, получаем **формулу (2)**:

$$v = \frac{M + m}{m} \sqrt{2g(l - \sqrt{l^2 - d^2})} \quad (2)$$

, где  $M$  – масса маятника

$m$  – масса пули

$l$  – длина нитки, на которой подвешен маятник

$d$  - отклонение

А теперь всё же давайте исследуем формулу. [слайд]

Итак, из формулы мы можем видеть, что скорость можно увеличить, если:

- увеличить давление;
- увеличить площадь трубки (и пули соответственно);
- увеличить длину трубки;
- уменьшить массу пули.

Теперь сопоставляя теорию с практикой, разберём подробнее каждый пункт.

[слайд] Увеличение давления.

Плюсы:

- скорость пули растёт всегда.

Минусы:

- ограничено возможностями лёгких человека;
- требуется хорошая техника стрельбы

А на практике это выглядело следующим образом. [слайд]

[слайд] Увеличение площади.

Плюсы:

- скорость вырастет.

Минусы:

- ограничено начальным давлением и объёмом лёгких;
- влечёт увеличение массы пули, причём масса растёт быстрее площади.

[слайд] Увеличение длины трубки

Плюсы:

- скорость вырастет.

Минусы:

- ограничено начальным давлением и объёмом лёгких;
- ухудшается транспортабельность, риск повреждения.

Кстати, при давлении в 20 кПа и массе пули 4,25 г максимальная длина трубки без учёта диссипативных сил составит около 7 м. С силами диссипации – чуть больше 6 м.

[слайд] Уменьшение массы пули

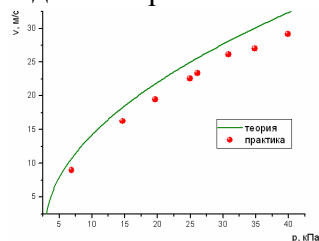
Плюсы:

- скорость вырастет.

Минусы:

- снижается практическое применение.

Однако вернёмся к нашей установке и посмотрим, что же вышло у нас. [слайд]



Итак, перед вами график зависимости скорости от давления. Как видно из графика, пренебрежение диссипативными силами вполне оправдано. Различия теоретических и практических результатов в среднем составляет около 2 м/с.

Теперь рассмотрим, что происходит при разных длинах трубки: [слайд]

Как видно, теория оправдана.

[слайд] Подведём итоги

Для того, чтобы достичь максимальной скорости вылета пули, надо:

- увеличить давление и сохранять его постоянным;

- облегчить массу пули (применять лёгкие материалы);
- подобрать оптимальную площадь сечения и длину трубки.

**[слайд]** За сим у меня всё. А сейчас готов выслушать и ответить на вопросы. Спасибо за внимание!

Процесс при расширении газа – адиабатический. Интересно будет знать, какую работу совершает газ, толкая пулю. Для этого рассмотрим **формулу (3)** работы, совершаемой при адиабатном процессе:

$$A = \nu \frac{R}{\gamma - 1} (T_1 - T_2) \quad (3)$$

, где  $\nu$  – количество газа

$R$  – универсальная газовая постоянная для воздуха

$\gamma$  – показатель адиабаты (1,4 для воздуха)

$T_1$  и  $T_2$  – температуры газа в начале и в конце процесса соответственно

Можно заметить, что разность температур измерить довольно сложно. Поэтому из выражения Менделеева-Клапейрона выразим разность температур и подставим в формулу. Получим совсем простую **формулу (4)**:

$$A = \frac{p_1 V_1 - p_2 V_2}{\gamma - 1} \quad (4)$$

, где  $p_1$  и  $p_2$  – начальные и конечные давления,  $V_1 - V_2$  – объёмы.

...