

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.

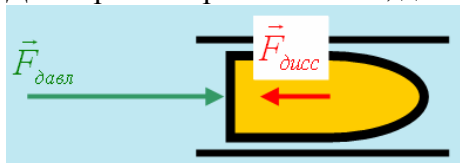
Дуть в трубку ртом не очень-то удобно, поскольку уже после не то, чтобы нескольких, а уже одного выстрела трубка запотеваает и в ней начинают конденсироваться капельки пара, которые вносят погрешность в измерения. Дабы этого избежать, мы собрали следующую установку, которая схематично выглядит следующим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

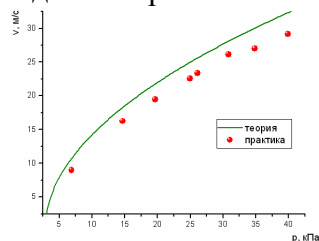
Плюсы:

- 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 ν – количество газа

R – универсальная газовая постоянная для воздуха

γ – 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.

...