

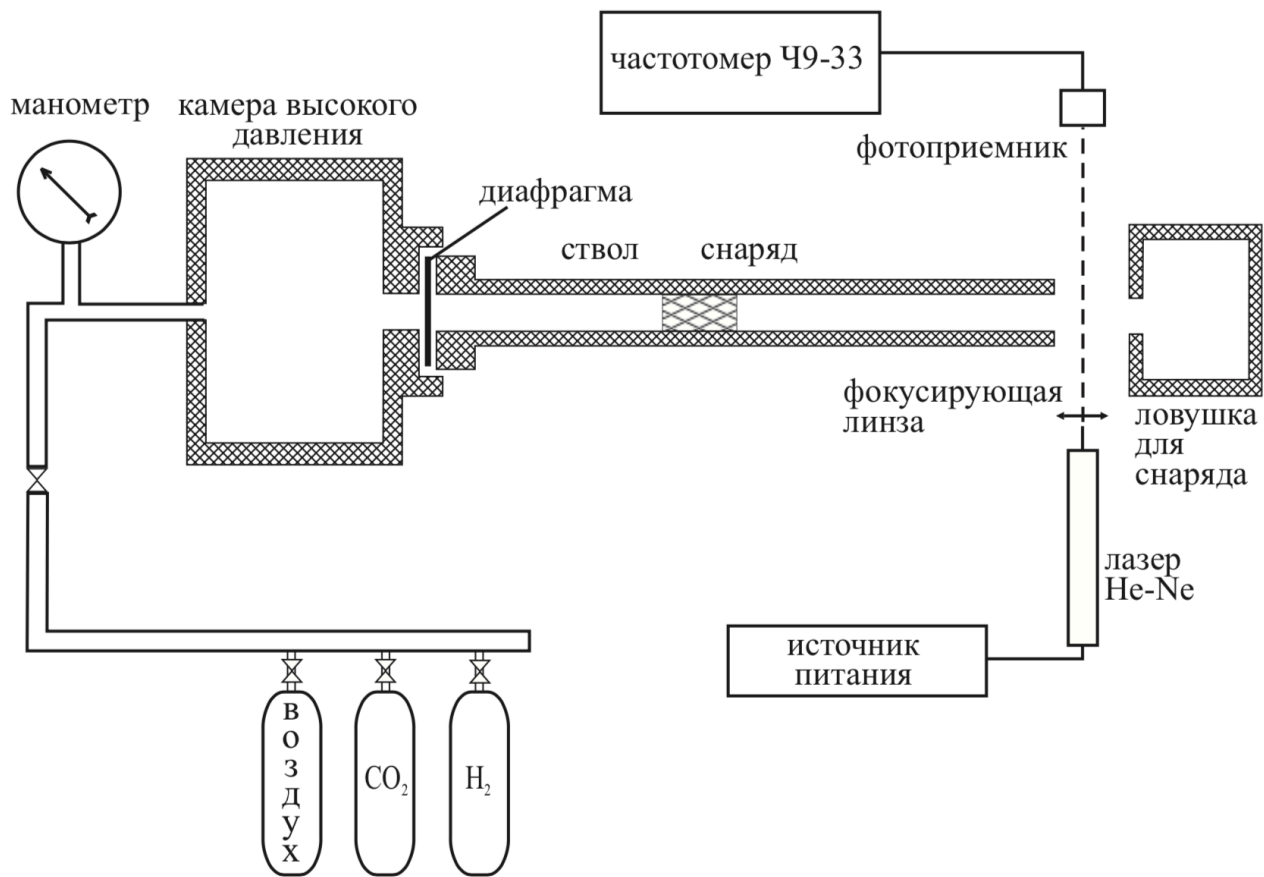
## **Отчёт по лабораторной работе № 9**

### **«Изучение характеристик баллистической установки»**

Работу выполнили:  
студенты группы Б03-906  
Кузьмичёва Евдокия  
Орифов Далер  
Петров Дмитрий  
Пыряев Евгений

**Цель работы:** рассчитать параметры баллистической установки  
**В работе используются:** лабораторная баллистическая установка

### Ход работы



*Схема баллистической установки*

Диафрагма позволяет создавать в ресивере необходимое для эксперимента давление. Время ее раскрытия пренебрежимо мало. Разрыв диафрагмы осуществляется при помощи иглы, приводимой в движение с помощью электромагнита. В этот момент фиксируется давление внутри ресивера.

При помощи частотометра и оптической схемы, состоящей из He-Ne лазера, фототранзистора и эмиттерного повторителя, определяется время за которое снаряд проходит расстояние, равное своей длине. Далее снаряд попадает в ловушку.

Эксперимент проводился для двух различных снарядов.

## Экспериментальные данные

$p_0$  — давление в ресивере

$t$  – время пересечения пули лазерного луча, т.к. луч пренебрежимо тонкий, то это время перелета пулей собственной длины

Длина ствола – 0.5 м

Атмосферное противодавление – 1 атм

	Диаметр, мм	Длина, мм	Масса, г
Снаряд 1	7	7	0,38
Снаряд 2	7	12	0,65

### Вариант №1

Снаряд 1		Снаряд 2	
$p_0$ , атм	$t$ , мкс	$p_0$ , атм	$t$ , мкс
15	29,13	15	73,43
20	23,08	20	62,17
25	20,46	25	58,49
30	20,41	30	45,06
35	16,69	35	40,23
40	16,07	40	40,00

### Вариант №2

Снаряд 1		Снаряд 2	
$p_0$ , атм	$t$ , мкс	$p_0$ , атм	$t$ , мкс
15	25,00	15	73,41
20	22,67	20	65,95
25	20,50	25	58,73
30	19,01	30	52,31
35	17,38	35	45,74
40	16,14	40	40,14

## Теоретический расчёт

1) Уравнение адиабаты Пуассона:

$$\frac{p_{st}}{p_0} = \left( \frac{\rho_{st}}{\rho_0} \right)^\gamma;$$

отсюда и из уравнения

$$1 + \frac{\gamma - 1}{2} \left( \frac{u}{a} \right)^2 = \left( \frac{a_0}{a} \right)^2 = \left( \frac{\rho_{st}}{\rho_0} \right)^{-(\gamma-1)}$$

следует выражение для статического давления в газе, толкающем снаряд, с учётом его вязкости и теплопроводности:

$$p_{st} = p_0 \left( 1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2 \right)^{-\frac{\gamma}{\gamma-1}}. \quad (1)$$

2) Воспользуемся уравнением энергии:

$$i + \frac{u^2}{2} = c_p T + \frac{u^2}{2} = const = \frac{u_{max}^2}{2} = c_p T_0,$$

где  $u$  — абсолютная скорость течения потока в произвольном сечении канала,  $i$  — удельная энтальпия. Введя понятие скорости звука

$$a = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}} = \sqrt{\gamma \frac{p}{\rho}} = \sqrt{\gamma R T},$$

уравнение энергии можно переписать в виде:

$$\begin{aligned} \frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{p}{\rho} + \frac{u^2}{2} &= \frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{p_0}{\rho_0} \\ \Rightarrow \frac{u^2}{2} + \frac{a^2}{\gamma-1} &= \frac{a_0^2}{\gamma-1}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $a_0$  — скорость звука в адиабатически заторможенном газе.

3) Из (1) и (2):

$$p_{st} = p_0 \left( 1 + \frac{\gamma-1}{2} \frac{u^2}{a_0^2 - \frac{\gamma-1}{2} u^2} \right) - \frac{\gamma}{\gamma-1} = p_0 \left( 1 - \frac{\gamma-1}{2} \frac{u^2}{a_0^2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

4) Противодействие, действующее на заряд, как давление торможения воздуха, набегающего на неподвижный снаряд со скоростью заряда:

$$p^* = p_{atm} \left( 1 + \frac{\gamma^* - 1}{2} M^2 \right)^{\frac{\gamma^*}{\gamma^*-1}}.$$

Уравнение движения заряда:

$$m \frac{du}{dt} = S(p_{st} - p^*).$$

Отсюда:

$$\frac{m}{p_0 S} u \frac{du}{dt} = \left( 1 - \frac{\gamma-1}{2} \frac{u^2}{a_0^2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} - \frac{p_{atm}}{p_0} \left( 1 + \frac{\gamma^* - 1}{2} M^2 \right)^{\frac{\gamma^*}{\gamma^*-1}}.$$

$p_0$  — давление в ресивере;  $a_0$  — скорость звука в неподвижном толкающем газе;  $\gamma, \gamma^*$

— показатели адиабаты толкающего и внешнего газа соответственно.

5) В результате разложения в ряд правой части получено уравнение:

$$u(x) = \frac{\left(1 - \frac{p_{atm}}{p_0}\right)^{\frac{1}{2}}}{\alpha^*} \left(1 - \exp\left[-2g_0\alpha^* x^2\right]\right)^{\frac{1}{2}},$$

$$\text{где } \alpha^{*2} = \frac{\gamma}{2a_0^2} + \frac{\gamma^*}{2a_0^{*2}} \frac{p_{atm}}{p_0}.$$

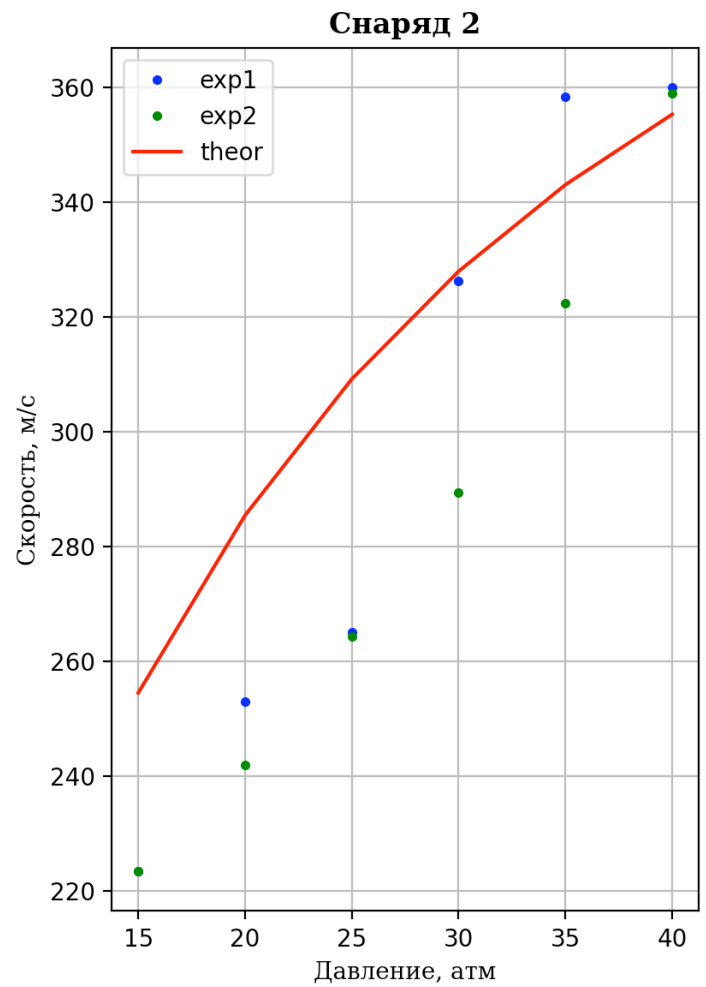
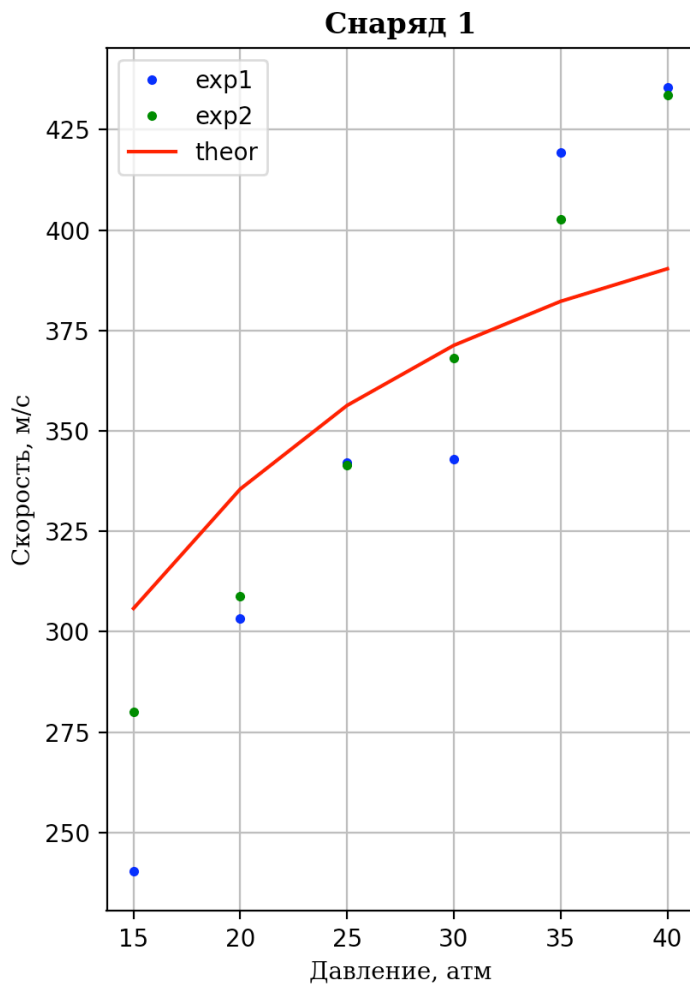
При  $p^* = p_{atm}$ :

$$u(x) = \frac{1}{\alpha} \sqrt{\frac{p_0 - p_{atm}}{p_0 + p_{atm}}} \cdot \sqrt{1 - \exp\left(-2g_0\alpha^2 \left[1 + \frac{p_{atm}}{p_0}\right] x\right)}$$

## Сравнение эксперимента с теорией

$$u(x) = \frac{1}{\alpha} \sqrt{\frac{p_0 - p_{atm}}{p_0 + p_{atm}}} \cdot \sqrt{1 - \exp\left(-2g_0\alpha^2 \left[1 + \frac{p_{atm}}{p_0}\right] x\right)}$$

*Зависимость скорости пули от давления газа в ресивере*



### Среднеквадратичное отклонение

	1 снаряд	2 снаряд
1 вариант	12%	8%
2 вариант	25%	29%